

ISSN 0032-874X

ПРИРОДА

3 16



Главный редактор
академик, доктор физико-математических наук **А.Ф.Андреев**

Заместитель главного редактора
доктор физико-математических наук **А.В.Бялко**

доктор биологических наук **А.С.Апт**, доктор геолого-минералогических наук **А.А.Арискин**, член-корреспондент, доктор физико-математических наук **П.И.Арсеев**, **О.О.Астахова**, доктор биологических наук **Ф.И.Атауллаханов**, член-корреспондент, доктор юридических наук **Ю.М.Батурич**, доктор биологических наук **Д.И.Берман**, доктор биологических наук **П.М.Бородин**, **М.Б.Бурзин**, доктор физико-математических наук **А.Н.Васильев**, член-корреспондент, доктор филологических наук **В.И.Васильев**, кандидат биологических наук **М.Н.Воронцова**, доктор физико-математических наук **Д.З.Вибе**, кандидат физико-математических наук, доктор биологических наук **М.С.Гельфанд**, академик, доктор физико-математических наук **С.С.Герштейн**, профессор **А.Глухов** (**A. Glukhov**, США), академик, доктор физико-математических наук **Г.С.Голицын**, доктор химических наук **И.С.Дмитриев**, кандидат биологических наук **С.В.Дробышевский**, академик, доктор физико-математических наук **Л.М.Зеленый**, академик, доктор биологических наук **Н.А.Зиновьева**, академик, доктор биологических наук **А.Л.Иванов**, профессор **Т.Йованович** (**T. Jovanović**, Сербия), доктор биологических наук **С.Л.Киселев**, кандидат географических наук **Т.С.Клювиткина**, член-корреспондент, доктор физико-математических наук **М.В.Ковальчук**, доктор биологических наук **С.С.Колесников**, **Е.А.Кудряшова**, профессор **Е.Куниин** (**E. Koonin**, США), академик, доктор геологоминералогических наук **Н.П.Лаверов**, доктор геолого-минералогических наук **А.Ю.Ленин**, член-корреспондент, доктор биологических наук **В.В.Малахов**, профессор **Ш.Миталипов** (**Sh. Mitalipov**, США), доктор сельскохозяйственных наук **Ю.В.Плугатарь**, доктор физико-математических наук **М.В.Родкин**, академик, доктор биологических наук **Л.В.Розенштраух**, академик, доктор физико-математических наук **А.Ю.Румянцев**, член-корреспондент, доктор биологических наук **Н.И.Санжарова**, доктор физико-математических наук **Д.Д.Соколов**, кандидат физико-математических наук **К.Л.Сорокина**, кандидат исторических наук **М.Ю.Сорокина**, **Н.В.Ульянова**, академик, доктор физико-математических наук **Л.Д.Фаддеев**, академик, доктор биологических наук **М.А.Федонкин**, академик, доктор физико-математических наук **А.Р.Хохлов**, академик, доктор физико-математических наук **А.М.Черепашук**, академик, доктор физико-математических наук **Ф.Л.Черноусько**, член-корреспондент, доктор химических наук **В.П.Шибяев**, **О.И.Шутова**, кандидат биологических наук **А.О.Якименко**, доктор геолого-минералогических наук **А.А.Ярошевский**

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Песчаные косы, образовавшиеся в русле Амура после наводнения. См. в номере: **Махинов А.Н.** *Наводнение на Амуре в 2013 году: причины, масштабы, последствия.*

Фото автора

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Берег острова Баянно, на котором обнаружены следы жилища саамов. См. в номере: **Успенская М.Б.** *Природный феномен или древний изобразительный комплекс?*

Фото автора



«Наука»

В НОМЕРЕ:**3 Бялко А.В.****Парижское соглашение по климату: реальны ли цели?**

Глобальное потепление климата заставило мировое сообщество принять стратегию для минимизации его последствий. Сумеем ли мы достичь поставленных целей? Ответ оказался не прост.

11 Алфимова М.В.**Распознавание эмоций: гены и опыт**

Вопрос о роли природы и воспитания в развитии у человека способности выражать и распознавать эмоции интересовал еще Дарвина. В наши дни мимику исследуют с помощью новых технологий, позволяющих выделять восприятие информации и ее опознание. На примере гена транспортера серотонина показано, как генетические особенности могут влиять на связь между опытом человека и распознаванием им эмоций.

17 Никельшпарг Э.И**SERS — изучение цитохрома с в живых митохондриях**

Митохондрии — очень популярный объект исследования, однако до недавнего времени многие свойства отдельных компонентов этих органелл оставались неизвестны. Это было связано в первую очередь с отсутствием подходящих технологий, позволяющих вести исследования непосредственно в живых митохондриях. Такая возможность появилась, когда был разработан новый метод.

26 Махинов А.Н.**Наводнение на Амуре в 2013 году: причины, масштабы, последствия**

В 2013 г. в долине р.Амур произошло наводнение, ставшее крупнейшим за всю историю гидрологических наблюдений. Многие населенные пункты, поля и дороги оказались затопленными, эвакуированы десятки тысяч людей. Чем же было вызвано это невиданное бедствие и какими последствиям оно обернулось для жителей и природы Дальнего Востока?

37 Корженков А.М., Варданян А.А., Стаховская Р.Ю.**Следы землетрясений в затерянном городе**

Древние землетрясения оставили следы разрушения в столице Набатейского царства Петре. А событие 632 г. практически разрушило город. Его руины стали «окаменевшими сейсмографами», которые могут помочь выявить место, силу и время значительных землетрясений прошлого.

Научные сообщения**45 Кондратова М.С.****Точечное воздействие в иммунотерапии рака****Пружинская М.В.****Сверхъяркая сверхновая ASASSN-15lh (48)****Келлер Н.Б.****Глубоководные коралловые банки (51)****Вести из экспедиций****54 Успенская М.Б.****Природный феномен или древний изобразительный комплекс?****Времена и люди****65 Гнездилов В.М.****Культурный импульс профессора Покровского****Наука и общество****74 Радзюн А.Б., Хартанович М.В.****Почему Петр I собирал уродов?****82****Золотая медаль имени И.П.Павлова — Л.В.Розенштрауху****86****Новости науки**

На пути к созданию «Супер чарм-тау-фабрики» (86). Получена фазовая диаграмма переходов между фотонными кристаллами и метаматериалами (87). Кто открыл новые элементы таблицы Менделеева? (88). Северные манси: восхождение к Мир-сусне-хуму. Бауло А.В. (89)

Рецензии**91 Равкин Ю.С., Соловьев С.А.****Природноочаговые болезни на карте России**

(на кн.: Природноочаговые болезни: медико-географический атлас России / Ред. С.М.Малхазова)

94**Новые книги**

CONTENTS:

3 **Byalko A.V.**

Paris Climate Agreement: Are Its Goals Realistic?

Global warming forced the world community to adopt a strategy for reducing its impacts. Will we succeed in achieving the goals set? The answer appears to be not so easy.

11 **Alfimova M.V.**

Emotion Recognition: Genes and Experience

Yet Darwin was interested in the nature-versus-nurture question regarding the ability to express and recognize emotions. Nowadays facial emotions are investigated using new technologies allowing to extract perception and identification of information. The example of serotonin transporter gene shows how genetic traits can influence the relationship between personal experience and emotion recognition.

17 **Nikelshparg E.I.**

SERS – Probing Cytochrome c Living Mitochondria

Mitochondria are a very popular object of study. However many properties of individual components of these organelles remained unclear until recently. That was primarily due to the absence of suitable techniques, which would allow to conduct research directly in living mitochondria. The development of a new method made it possible.

26 **Makhinov A.N.**

2013 Flood on the Amur River: Reasons, Scale, Impact

In 2013 the Amur River has experienced its worst flooding – the strongest in the entire history of hydrological observations. Many population centers, fields and roads were flooded, tens of thousands of people were evacuated. What caused this unprecedented disaster and what are the implications for population and nature of the Far East?

37 **Korzhenkov A.M., Vardanyan A.A., Stakhovskaya R.Y.**

Traces of Earthquakes in the Lost City

Ancient earthquakes left a trail of destruction in Petra, the capital of the Nabataean kingdom. And the event of 632 AD almost destroyed the city. Its ruins became the «fossil seismographs» that can help to reveal the place, magnitude and timeline of significant historical earthquakes.

Scientific Communications

45 **Kondratova M.S.**

Point Impact in Cancer Immunotherapy

Pruzhinskaya M.V.

Superluminous Supernova ASASSN-15lh (48)

Keller N.B.

Deep-Water Coral Banks (51)

Notes from Expeditions

54 **Uspenskaya M.B.**

Natural Phenomenon or Ancient Figurative Complex?

Times and People

65 **Gnezdilov V.M.**

Professor Pokrovsky's Cultural Impulse

Science and Society

74 **Radziun A.B., Hartanovich M.V.**

Why Did Peter the Great Collected Monsters?

82

Ivan Pavlov Gold Medal – to L.V. Rosenshtraukh

86 **Science News**

Towards the Creation of SuperC-Tau-Factory (86). Phase Diagram for the Transition between Photonic Crystals and Metamaterials Obtained (87). Who Discovered New Elements of Periodic Table? (88). North Mansi: the Rise to Mir-Susne-Hum. **Baulo A.V.** (89)

Book Reviews

91 **Ravkin Y.S., Soloviev S.A.**

Natural Focal Diseases on the Map of Russia

(Natural Focal Diseases:
Medico-geographical Atlas of Russia /
Ed. Malkhazova S.M.)

94

New Books

Парижское соглашение по климату: реальны ли цели?

А.В.Бялко

Будущее может не быть; настоящее может и должно перемениться...

В.А.Жуковский

В декабре прошлого года в Париже произошло событие, значение которого можно будет полностью оценить только к концу столетия: успешно завершилась очередная, 21-я, международная конференция по климату. Возможно, когда-нибудь воздействие ее решений на будущее развитие человечества станут сравнивать с основанием Организации Объединенных Наций 70 лет назад. Однако сегодня такая высокая оценка парижской конференции почти не слышна. Напротив, звучит критика принятых документов как со стороны противников борьбы с потеплением климата, так и со стороны ее сторонников, которые недовольны мерами, недостаточными для достижения поставленных целей. Основная цель, одобренная всеми 185 странами-участницами — ограничить потепление климата к концу века двумя градусами Цельсия. Достичь ее будет не просто, это было очевидно еще до конференции [1] и подтвердится расчетами данной статьи. Но даже при таком ограниченном росте температуры произойдет неотвратимое повышение уровня океана. Оно будет продолжаться еще несколько столетий, принуждая к переселению миллиарды человек.

Так почему же роль парижской климатической конференции может стать настолько значительной в истории? Потому



Алексей Владимирович Бялко, доктор физико-математических наук, ассоциированный сотрудник Института теоретической физики им.Л.Д.Ландау РАН, заместитель главного редактора журнала «Природа». Область научных интересов — теоретическая физика, науки о Земле.

Ключевые слова: климат, парниковый эффект, глобальное потепление.
Key words: climate, greenhouse effect, global warming.

что на наших глазах произошел беспрецедентный перелом в глобальной политике и общественном мнении. Научные выводы, доказавшие антропогенную роль в потеплении климата, привели к реальным политическим следствиям. Никогда ранее главы практически всех стран мира не высказывали настолько единодушное мнение по важнейшему и прежде спорному вопросу. Они признали, что: 1) потепление климата идет, причем довольно быстро; 2) оно вызвано чрезмерным сжиганием ископаемых топлив; 3) должны быть приняты меры, приостанавливающие потепление. Ведущими индустриальными странами были взяты добровольные обязательства по сокращению выбросов CO₂ в атмосферу. Всеми странами-участницами подписано соглашение, в котором поставлена цель: к концу текущего века рост температуры не должен превысить 2°C. Наконец, тем странам, чьи убытки от потепления окажутся наибольшими, международное сообщество начиная с 2020 г. будет выделять компенсацию, достигающую 10¹¹ долл. в год.

Эта сумма производит впечатление, но она много меньше предстоящих расходов, которые будут связаны с неизбежным переходом мировой энергетики на возобновляемые источники энергии. В качестве первых действий угольные электростанции должны быть переведены на газ или заменены атомными, а автомобильный транспорт должен перейти на электрическое питание. В конечном итоге возобновляемая (солнечная, ветровая, биотопливная, гидро-) и ядерная энергетика должны по мощности существенно превзойти энергетiku ископаемых топлив. Сопrotивление энергетических компаний такому резкому повороту еще далеко не преодолено. Воз-

© Бялко А.В., 2016

можно, именно с этим связан сегодняшний демпинг нефтяных цен и углубляющийся финансовый кризис.

Здесь хочется остановиться на количественном опровержении одного широко распространенного заблуждения. В средствах массовой информации неоднократно высказывалось опасение, что запасы нефти и газа ограничены, их истощения лет через 20—30 иссякнут. Это неправда (хотя, возможно, неумышленная), и вот почему. Как мы знаем, в земной атмосфере 21% кислорода. Откуда появился этот кислород? Ни на одной исследованной планете его нет. Ответ также известен: он возник при фотосинтезе. Под действием солнечного света растения поглощают CO_2 из атмосферы, углерод ими усваивается, а кислород отдается атмосфере. В ней накопилась значительная масса O_2 , но куда же делся соответствующий углерод? Очень просто: на каждые 32 кг кислорода атмосферы 12 кг углерода в виде угля, нефти и газа были сокрыты в недрах планеты, погребены под слоями осадков. На самом деле углеводородов там даже больше, так как восстановительная среда первичной аммиачно-метановой атмосферы Земли была окислена, а кислород для этого тоже был выделен фотосинтезом. К настоящему моменту сжигание ископаемых топлив увеличило концентрацию диоксида углерода с 280 до 400 ppm (частей на миллион), т.е. всего на 0.012%. Доля кислорода в атмосфере при этом уменьшилась совсем незаметно. Если бы сгорела хотя бы половина углерода, запасенного в недрах, Земля превратилась бы в подобие безжизненной Венеры. Поэтому запасы угля, нефти и метана на планете практически неисчерпаемы. Но добывать и сжигать их безудержно уже нельзя: так можно перегреть планету до точки необратимости, когда океан уже не сможет поглощать избыток диоксида углерода из атмосферы, а захороненные углеводороды начнут выгорать бесконтрольно.

Обязательства государств по сокращению выбросов CO_2 к 2030 г. позволяют прогнозировать его атмосферную концентрацию к этому времени и в отдаленном будущем. В частности, Германия и Англия уже приняли решения о закрытии угольных шахт, а правительство США выделяет каждому штату свою квоту планируемых сокращений парниковых выбросов. Задача данной статьи — оценить на этой основе возможности выполнения основного условия, поставленного на парижской климатической конференции — повышения температуры не более чем на 2°C к 2100 г. Попутно будут рассмотрены перспективы достижения к концу текущего века уровня концентрации CO_2 , равного 350 ppm. Такая цель была сформулирована международной общественной организацией 350.org (это же и адрес ее сайта).

Но прежде следует описать климатическую ситуацию, сложившуюся к концу 2015 г., а также изложить предпосылки предстоящего анализа.

Взаимодействие атмосферы и океана определяет климат

Климатическая температура, которой посвящена статья, — это глобальная характеристика планеты. Она рассчитывается путем обработки сети метеорологических наблюдений и усредняется по всей земной поверхности*. Ее среднее значение за период с 1950 по 1980 г. (когда она менялась относительно слабо), равное 14.37°C , принимается за новую точку отсчета. После 1980 г. глобальная температура определенно стала возрастать вследствие парникового эффекта. Он вызван присутствием в воздухе малых примесей парниковых газов: диоксида углерода, метана и паров воды. Роль метана относительно мала, концентрация водяных паров сама зависит от температуры, поэтому наиболее существенное влияние на парниковый эффект оказывают изменения концентрации углекислого газа. Последняя, в свою очередь, определяется выбросами CO_2 при сжигании угля, нефти и газа. Однако атмосферная концентрация отнюдь не равна сумме всех масс газа, образовавшихся и выброшенных в атмосферу при сгорании ископаемых топлив. Примерно половину выбросов поглощает океан, причем газообмен имеет широтную зависимость.

Точные измерения концентрации CO_2 ведутся с 1958 г., они публикуются еженедельно, методика описана в [2]. На графике (рис.1, а) виден равномерный, почти параболический, рост, на который наложены ежегодные колебания, мало изменившиеся за весь период измерений. Их амплитуда примерно равна 3 ppm. Если из данных измерений вычтуть эти колебания и средний тренд, останутся нерегулярные возмущения с дисперсией, равной всего 0.78 ppm. Они вызваны как ошибками измерений, так и явлением Эль-Ниньо — Южная осцилляция (ENSO), с индексом которого возмущения достаточно хорошо коррелируют.

Может показаться, что пилообразные сезонные вариации концентрации CO_2 вызываются фотосинтезом растений весной и разложением листового опада осенью. Это ошибочное представление. Посмотрите на рис.1, б. Он наглядно показывает, что причина сезонных колебаний состоит в антропогенной деятельности и поглощении диоксида углерода океаном. Вариации его концентрации происходят преимущественно в Северном полушарии, там сосредоточено основное население, а следовательно, и потребление энергии. Зимний отопительный сезон поставляет дополнительные массы CO_2 в атмосферу, а летом и осенью холодные воды Северного Ледовитого океана, частично освобождаясь ото льда, активно его поглощают. Растворимость газа в холодной воде повышена, поэтому в полярных широтах Север-

* Бялко А.В. От местного климата к глобальному // Природа. 2012. №9. P.58—65.

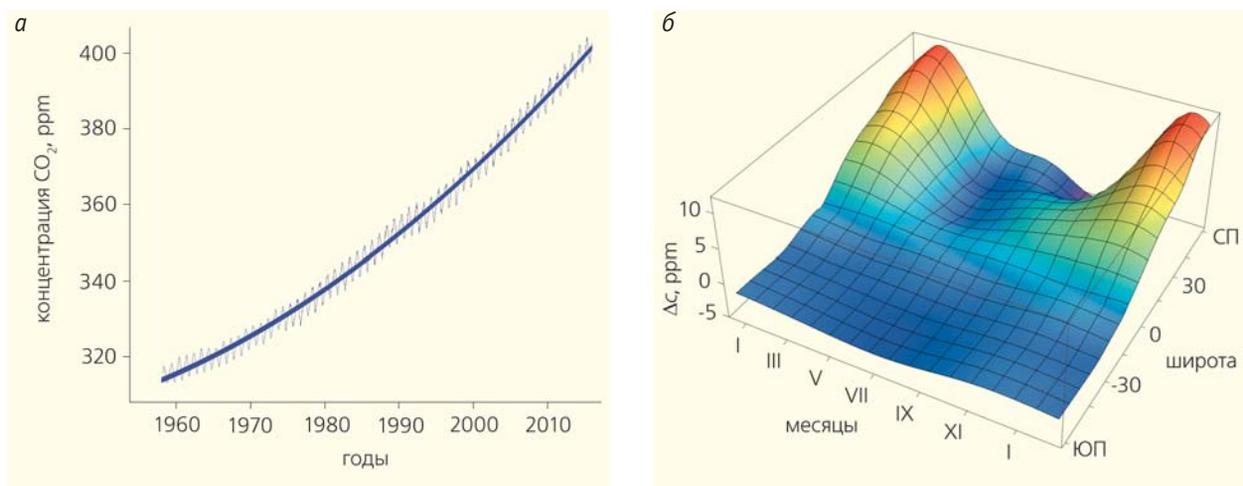


Рис.1. Атмосферная концентрация CO₂. Данные измерений на о.Мауна-Лоа (а). Тонкая пилообразная кривая построена по данным, обновляемым на сайте <http://cdiac.ornl.gov/ftp/trends/co2/maunaloa.co2>. Парабола $0.01175(t-1922.7)^2$, толстая кривая, иллюстрирует тренд изменения. Сезонные вариации (Δс) в зависимости от месяцев года и широты (б) по данным статьи [2] и сайта ftp://aftp.cmdl.noaa.gov/data/trace_gases/co2/flask/surface/.

ного полушария размах сезонных вариаций концентрации газа достигает 12 ppm. Их максимум приходится на середину мая, а минимум — на конец сентября. Отметим также небольшое повышение концентрации в июле—августе на северных широтах 30—45°: это следствие работы кондиционеров, охлаждающих помещения в период летней жары. В Южном полушарии, напротив, сезонные колебания сильно сглажены, но поглощение CO₂ происходит там в течение всего года. Понимание причин и следствий важно не только для осознания очевидности антропогенного воздействия, но и для оценки возможных мер по снижению атмосферной доли CO₂.

Интенсивность газообмена между атмосферой и океаном можно также независимо вычислить по данным вариации концентрации радиоуглерода ¹⁴C. Содержание этого изотопа выросло вдвое выше фона после серии ядерных испытаний в атмосфере вследствие реакции нейтронов с азотом воздуха. Однако после подписания международного договора 1963 г. о прекращении взрывов в атмосфере оно стало быстро снижаться и сегодня превышает прежний фон всего на 4%. Химические реакции для радиоуглерода тождественны таковым для других его изотопов, равно как и его поглощение водой, поэтому экспоненциально быстрое падение его

содержания в воздухе было обусловлено в основном газообменом с океаном. Его интенсивность за 50 лет возросла более чем на 40%, а характерное время экспоненциального убывания концентрации ¹⁴C в атмосфере составило 14—15 лет.

Ежемесячные данные по вариациям средней температуры земной поверхности получены обработкой сети метеорологических наблюдений с 1881 г. (рис.2). За два прошлых десятилетия рост

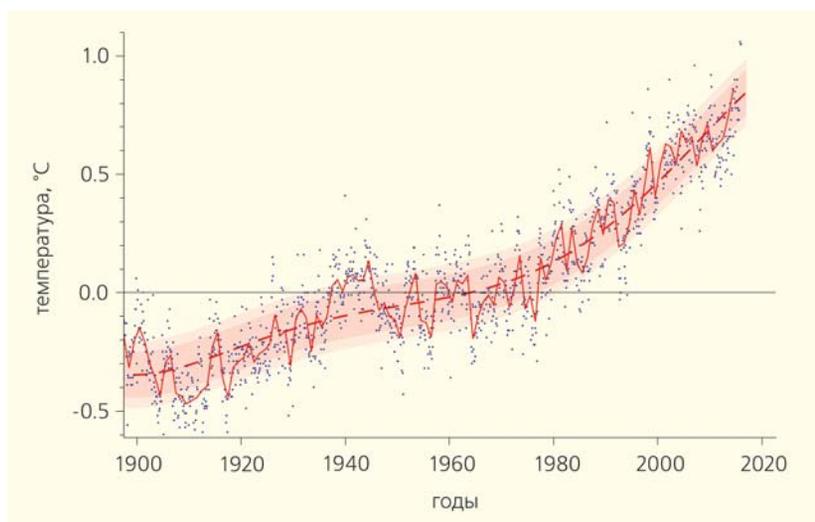


Рис.2. Температура земной поверхности, отсчитанная от ее среднего значения за период с 1930 по 1980 г. (данные ежемесячно публикуются на сайте cdiac.ornl.gov/ftp/ndp030/global.1751_2009.ems). Синие точки — ежемесячные глобальные вариации, полученные усреднением метеоданных по всей земной поверхности; красная ломаная соединяет ежегодные средние температуры, розовые полосы показывают диапазоны ежегодных (0.096°C) и ежемесячных (0.14°C) среднеквадратичных отклонений от красной штриховой кривой — сглаженного роста, аппроксимированного полиномом пятой степени.

температуры превысил 0.5°C и, таким образом, заметно превзошел среднеквадратичный разброс месячных вариаций, равный 0.14°C. Возможно, именно этот факт положил конец сомнениям в реальности потепления климата.

Средняя температура земной поверхности практически равна средней температуре поверхности океана по той причине, что теплоемкость воды больше теплоемкости грунта суши и при этом океаны занимают большую площадь по сравнению с сушей. Основную роль в формировании текущей температуры играет верхний слой океана, прогреваемый солнечным светом. С подстилающим слоем более холодной воды он перемешивается достаточно медленно вследствие своей более низкой плотности. Глубина этого термоклина составляет 100–150 м. Суммарная теплоемкость слоя океана выше термоклина в 30 раз больше теплоемкости всей атмосферы (а теплоемкость всего океана на три порядка выше, чем атмосферы).

Парниковый эффект связан с микроволновым излучением верхних слоев атмосферы, которое определяется спектрами поглощения CO₂ и паров воды. Воздействие этого эффекта на температуру планеты растет с увеличением концентрации диоксида углерода, но скорость, с которой возрастает температура поверхности, определяется не только самой концентрацией этого газа, но и тепловой инерцией океана.

Климатическое равновесие

Если концентрации парниковых газов не меняются достаточно долгое время, то температура поверхности в принципе должна стабилизироваться, а уровень океана — сохраняться постоянным. В частности, климат оставался стабильным последние 6 тыс. лет. Но ранее он менялся довольно существенно, оледенения чередовались с теплыми периодами. Как показывают палеоклиматические исследования, соответствие между средней температурой и концентрацией CO₂ не выполняется абсолютно точно: по-видимому, существенную роль играет также состояние глубин океана, а для установления их равновесия требуется время порядка 10 тыс. лет. Тем не менее некоторое соотношение между величинами c (концентрацией

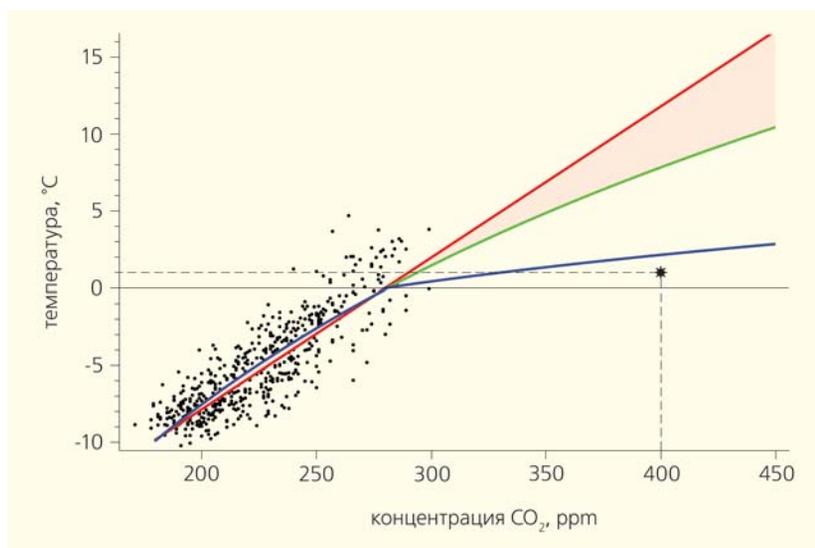


Рис.3. Оценки уравнения климатического равновесия. Черные точки (c, T) — концентрации CO₂ и вариации температуры за 800 тыс. лет по данным антарктического бурения. Красная штриховая прямая — линейная регрессия по этим точкам, уравнение (1а). Зеленая кривая — логарифмическая регрессия (1б). Синяя штриховая прямая, построенная по данным [4], соответствует уравнению (1с). Заливкой показана область климатического равновесия, которая будет использоваться в решениях уравнения релаксации для прогнозов температуры в будущем. Звездочка — современное состояние климата.

ей CO₂) и T (глобальной температурой) действительно устанавливается, но разброс точек вокруг кривой равновесия $T_{eq}(c)$ остается немалым.

Эта так называемая функция климатического равновесия есть важнейшая климатическая характеристика планеты, в английской литературе ее именуют чувствительностью — climate sensitivity. К сожалению, с достаточной точностью она пока не известна. Для климата, более холодного по сравнению с современным, т.е. для температур ниже доиндустриального уровня, кривая климатического равновесия определяется по данным бурения антарктического льда [2]. Но для оценок климатического равновесия при более теплом климате приходится использовать менее точные данные по температуре и концентрации CO₂ в конце плиоцена и начале плейстоцена (3.2–2.3 млн лет назад) [3]. Все варианты климатического равновесия можно свести к трем приближенным формулам:

$$T_{eq1}(c) = 0.098(c - c_0) \tag{1a}$$

$$T_{eq2}(c) = 22.2 \ln(c/c_0) \tag{1b}$$

$$\begin{cases} T_{eq3}(c) = T_{eq2}(c) \text{ при } c < c_0; \\ T_{eq3}(c) = 6.0 \ln(c/c_0) \text{ при } c > c_0 \end{cases} \tag{1c}$$

Здесь $c_0 = 280$ ppm — концентрация CO₂ в доиндустриальную эпоху. Как видно на рис.3, линейная (1а) и логарифмическая (1б) регрессии во всем интересующем нас диапазоне температур почти совпадают. При этом достоинство линейной формулы еще и в том, что она дает правильный предел

при $c \rightarrow 0$. Равновесная температура планеты при отсутствии в атмосфере диоксида углерода оказывается равной -27°C , что чуть выше равновесной радиационной температуры Земли (-32°C). Разность между ними можно отнести на счет парникового эффекта на остаточных парах воды и неточностей коэффициентов.

При составлении общей зависимости с учетом данных плейстоцена [3] на графике климатического равновесия возникает излом, учитываемый формулой (1с). Он находится вблизи точки ($c = 280$ ppm, $T = 0$), которая соответствует доиндустриальным условиям, но физически ничем не выделена, и в истории палеоклимата никакой особой роли не играла. Отмеченная особенность формулы (1с) отчетливо проявится далее при моделировании современного климата. Затем мы вернемся к сравнению кривых климатического равновесия.

Уравнения релаксации климата и их решения

Если состояние атмосферы или океана существенно отклоняется от кривой равновесия, климатическая система имеет тенденцию возвращаться к своему равновесному положению. Она релаксирует тем быстрее, чем больше ее отклонение от равновесия, меняя характеристики пропорционально $\exp(-t/\tau)$ с некоторым временем релаксации τ . Этот процесс описывается хорошо известным линейным дифференциальным уравнением.

Для концентрации диоксида углерода $c(t)$ уравнение релаксации выглядит так:

$$dc/dt = (c_{\text{eq}} - c)/\tau_{\text{atm}} + P(t). \quad (2)$$

В него входит свободный член $P(t)$ — интенсивность выбросов CO_2 в атмосферу, функция, известная для прошлого или моделируемая для будущего. Величина c_{eq} , вообще говоря, должна определяться климатическим равновесием, но при небольшом росте температуры ее можно считать постоянной величиной, равной той концентрации газа, которая была до начала индустриальной революции, т.е. $c_{\text{eq}} = 280$ ppm. Время релаксации атмосферы τ_{atm} при поглощении газа океаном будем также рассматривать как константу. В качестве начального условия примем значение концентрации на момент начала точных измерений $c(1960) = 316$ ppm.

В дифференциальном уравнении релаксации для вариаций температуры $T(t)$

$$dT/dt = [T_{\text{eq}}(c) - T]/\tau_{\text{oc}} \quad (3)$$

свободный член отсутствует, но концентрация парникового газа в нем сама зависит от времени — $c(t)$. Как уже было показано, температура поверхности определяется теплоемкостью верхнего слоя океана, поэтому время релаксации τ_{oc} в этом уравнении должно быть существенно большим по сравнению со временем релаксации атмосферы. Судя по отношению их теплоемкостей, отношение времен релаксации может достигать 30.

Эти линейные уравнения легко интегрируются, а известные к настоящему моменту изменения концентрации $c(t)$ и температуры $T(t)$ дают возможность найти их времена релаксации*. Такие расчеты были выполнены [4]: времена релаксации атмосферы и океана были оценены как $\tau_{\text{atm}} = 26 \pm 0.8$ лет и $\tau_{\text{oc}} = 700 \pm 50$ лет (последнее для линейной регрессии). Ряды измерений с тех пор удлинились на 5 лет, а выступления представителей разных стран на парижской конференции позволяют оценить планируемые ими выбросы в атмосферу до 2030 г. Результаты сопоставления этих данных и интегрирования уравнений релаксации даны на рис.4—6.

* Бялко А.В. От климата прошлого к климату будущего // Природа. 2011. №5. С.3—12.

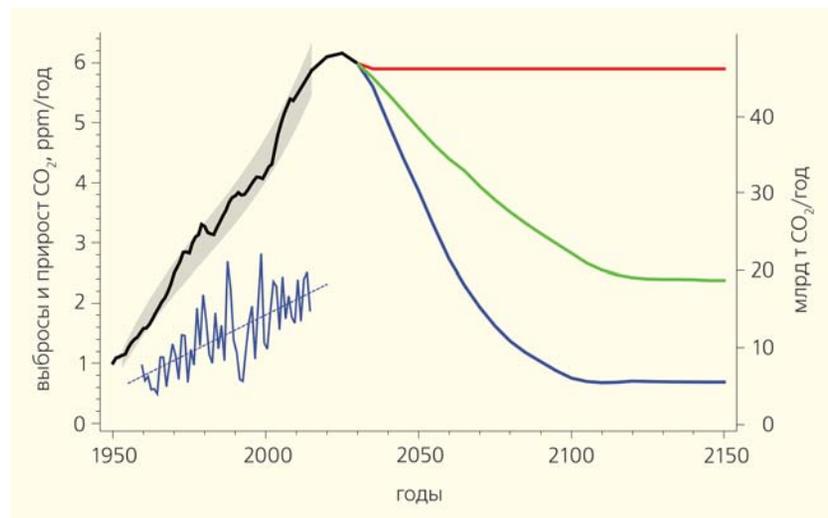


Рис.4. Ежегодные выбросы CO_2 в атмосферу и годовые приросты его концентрации. Правая и левая шкалы графика связаны соотношением $1 \text{ ppm/год} = 7.8 \text{ млрд т } \text{CO}_2/\text{год}$. Черная ломаная — история фактических выбросов, серая заливка показывает дисперсию исходных данных и уровень их неточности. Зеленая кривая с черным пунктиром — прогноз выбросов до 2030 г. по декларациям стран на парижской конференции. Дальнейшие прогнозы выбросов до 2150 г. даны цветом: постоянный уровень выбросов — красная кривая; умеренное снижение выбросов — зеленая; наиболее радикальный сценарий — синяя кривая. На графике также даны годовые приросты атмосферной концентрации CO_2 — тонкая синяя ломаная, пунктиром изображено линейное приближение ее роста. Отношение этих данных к выбросам показывает, какую долю газа поглотил океан.

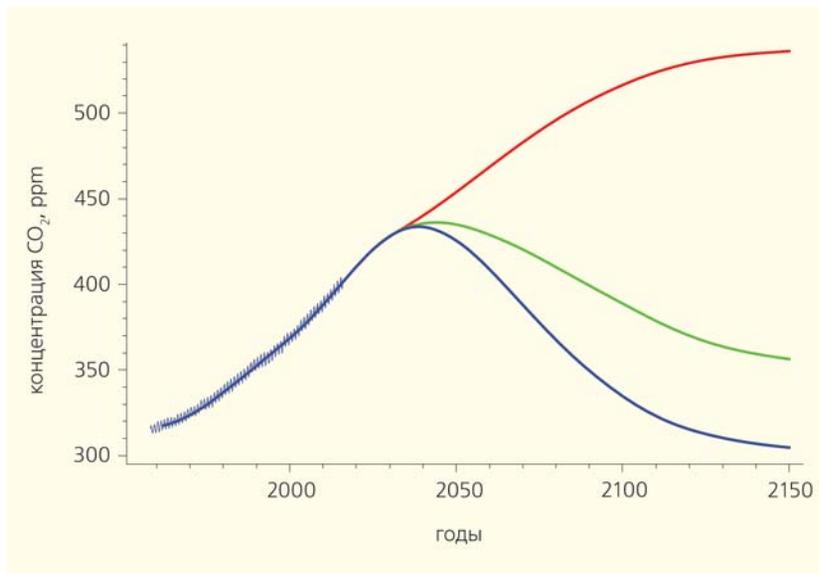


Рис.5. Атмосферные концентрации CO_2 в прошлом и будущем. Пилообразная кривая — данные измерений, более подробно показанные на рис.1. Цветные линии — решения уравнения (2) со временем релаксации $\tau_{\text{atm}} = 34 \pm 0.1$ года: красная кривая — для сценария с постоянным уровнем выбросов, зеленая — при умеренном снижении выбросов, синяя — результат радикального снижения использования ископаемых топлив.

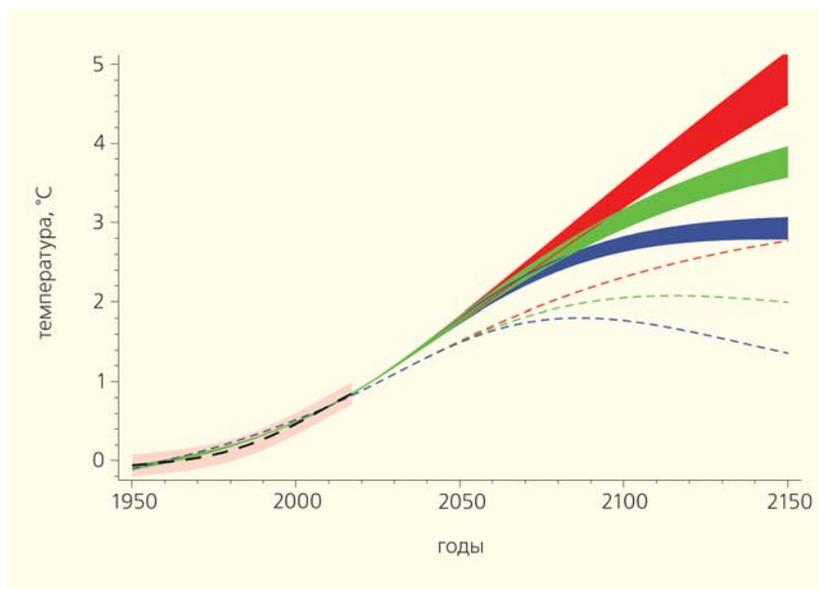


Рис.6. Изменения средней температуры земной поверхности в прошлом и будущем. Левая часть графика — упрощенное изображение рис.2, где красная штриховая кривая — аппроксимация полиномом пятой степени, розовая полоса — диапазон вариаций температуры относительно среднего роста. Решения уравнения (3) при трех сценариях сжигания ископаемых топлив показаны цветными заливками, аналогичными рис.5. При этом нижние границы каждого диапазона отвечают климатическому равновесию по логарифмической регрессии (1b) с временем релаксации $\tau_{\text{oc}} = 310 \pm 3$ лет, а верхние — по уравнению линейной регрессии (1a) с временем релаксации $\tau_{\text{oc}} = 470 \pm 3$ лет. Три тонкие цветные линии показывают решения уравнения релаксации с уравнением климатического равновесия (1с) с временем релаксации $\tau_{\text{oc}} = 70$ лет.

Опасения и надежды

Публикуемая статистика выбросов CO_2 не отличается высокой точностью данных. Особые сомнения вызывает период 1990-х годов, когда распад СССР на фоне дешевой нефти не способствовал надежности публикуемых данных. Поэтому для функции выбросов $P(t)$ были взяты данные американского сайта*, увеличенные на 10% в соответствии с последними данными других источников.

Как видно из графика рис.5, время релаксации $\tau_{\text{atm}} = 34 \pm 0.1$ года обеспечивает высокую точность соответствия теории и наблюдаемого роста атмосферной концентрации CO_2 . Их среднеквадратичная разность составляет только 0.3 ppm, что на порядок меньше амплитуды сезонных колебаний. Такая точность позволяет, в принципе, поставить и обратную задачу — вычисление истории выбросов CO_2 по его концентрации.

Но достигается ли поставленная цель по концентрации газа — 350 ppm? Она действительно необходима для предотвращения неприемлемого потепления. Результат обескураживает. Только наиболее радикальный сценарий уменьшения выбросов CO_2 обеспечивает выход на уровень 350 ppm к концу текущего столетия. Но тогда придется сократить выбросы до уровня 1955 г. Реально ли это? Задача представляется чрезвычайно трудной, почти немислимой по затратам. Умеренный сценарий, который предусматривает снижение использования угля, нефти и газа до показателей 70-х годов прошлого столетия, также непрост, а результат к концу века всего лишь близок к современному значению концентрации CO_2 , хотя в дальнейшем она продолжит убывать.

Решение уравнения релаксации для температуры не позволяет восстановить ее наблюдае-

* http://cdiac.ornl.gov/ftp/ndp030/global.1751_2009.ems

мый рост с той же относительной точностью, как для концентрации газа. Это неудивительно, поскольку входящая в (3) функция равновесия известна недостаточно точно. Тем не менее два ее варианта, линейная регрессия и логарифмическая, приводят к результатам, которые полностью укладываются в диапазон среднеквадратичной дисперсии для известных данных с 1950 по 2015 г. Величины времен релаксации τ_{oc} для этих вариантов оказались равными 470 и 310 лет для линейного и логарифмического приближений соответственно. Они на порядок превосходят время атмосферной релаксации, что физически вполне естественно. Напротив, функция равновесия с изломом (уравнение 1с) требует существенно меньшего времени релаксации $\tau_{oc} = 70$ лет, а решение для нее фактически не укладывается в диапазон температурной дисперсии, существенно отклоняясь от среднего в промежутке 1970—2000 гг., что свидетельствует о меньшей надежности функции равновесия (1с).

Зато она приводит к достаточно низкому повышению температуры к концу века: $+1.6^\circ\text{C}$ для радикального сценария выбросов, $+2.1^\circ\text{C}$ для умеренного сценария и $+2.5^\circ\text{C}$ для постоянного режима выбросов. В последнем варианте рост температуры продолжается и после 2100 г., прибавляя за следующие полвека еще 0.3°C . С одной стороны, эти результаты показывают реальность желаемых $+2^\circ$, так что мы будем только рады, если формула (1с) окажется справедливой.

С другой стороны, уже отмечалось, что излом функции равновесия в точке ($c = 280$ ppm, $T = 0^\circ\text{C}$) не имеет физических оснований. Не подвергая сомнениям результаты работы [4] для оценок температуры и концентрации CO_2 в плиоцене, отметим все же недостаточную обоснованность использования этих данных для функции равновесия современного климата. Во-первых, тогда (от 3.3 до 2.3 млн лет назад) происходило постепенное похолодание, нам же приходится рассматривать потепление климата. Во-вторых, уровень океана в плиоцене был значительно выше современного, а масса льда Антарктиды — меньше. По этой причине мог осуществляться значительный переток экваториальных вод из Атлантики в Тихий океан. Это обстоятельство радикально меняет всю систему океанских течений, а возможно, и температуру глубинных вод в то время.

Поэтому использование данных плиоцена для функции равновесия представляется сомнительным, линейная же и логарифмическая регрессии по данным антарктического бурения кажутся более надежными. К сожалению, цель, поставленная парижской климатической конференцией, при этом не достигается. Даже самый радикальный сценарий реформы энергетики приводит к повышению температуры к 2100 г. от 2.6 до 2.8°C , а более реалистичный — дает диапазон от 2.9 до 3.2°C .

Можно ли доверять этим весьма простым расчетам? Конечно, сомнения остаются, они будут разрешены или по крайней мере уменьшены при сравнении прогнозов с будущим реальным развитием. Но пока наши результаты принципиально не отличаются от выводов сложных схем моделирования климата на мощных компьютерах. Напротив, становится более очевидным тот факт, что результат моделирования зависит главным образом от принятой функции климатического равновесия (климатической чувствительности) в области положительных температур.

А есть ли надежды на более оптимистическое развитие событий? Да, они основаны на том, что наблюдается некоторое ускорение адаптации океана к антропогенному нарушению состояния атмосферы. Происходит это вследствие усиления атмосферной конвекции. Кроме того, быстрое убывание ледяного покрова Ледовитого океана в летние месяцы будет способствовать более активному поглощению диоксида углерода. Математически этот фактор должен проявляться в постепенном уменьшении времени атмосферной релаксации, которое в этой работе считалось постоянным. Напротив, время релаксации океана, скорее всего, должно расти со временем, поскольку при усилении конвекции возрастает глубина перемешивания океана. Учет этих изменений времен релаксации в расчетах потепления был бы пока преждевременным.

Экспонента невозврата

Наконец, обсудим существование климатической точки невозврата. Можно ли вычислить ее положение, можно ли избежать безудержного потепления? Точка невозврата (tipping point) — это, вообще говоря, понятие математическое, возникающее в случае раздвоения (бифуркации) решений. В применении к климату оно впервые было введено, по-видимому, в статье Джеймса Хансена и соавторов [6]. Именно в этой работе уровень атмосферной концентрации CO_2 , равный 350 ppm, был указан как обеспечивающий устойчивость климата в будущем. Напротив, его существенное превышение, по мнению авторов, может привести к необратимым изменениям климатической системы, к невозможности ее возвращения к предыдущему устойчивому состоянию. После выхода этой статьи в научной печати появилось довольно много рассуждений о точке невозврата климата, но доказательства того, что это понятие применимо к современной ситуации, не прозвучало.

Сделаем попытку получить условия невозврата из уравнений релаксации климата (2, 3) с законом равновесия (1а). Ранее уравнение (2) для изменений концентраций CO_2 решалось без учета температурного сдвига кривой равновесия, что оправ-

дано в случае, когда он мал. Посмотрим теперь, что происходит, если пренебречь ростом температуры уже нельзя. Качественно ясно, что при этом потепление будет дополнительно ускоряться. Продифференцируем (3) по времени и подставим в него уравнения (2) и (1а). Для изменений температуры возникает уравнение второго порядка:

$$d^2T/dt^2 - \alpha^2 T = \alpha^2(c_0 - c)b + P(t)/\tau_{oc}, \quad (4)$$

где $b = 0.098^\circ\text{C}/\text{ppm}$, а $\alpha^2 = (1/\tau_{\text{atm}} - 1/\tau_{\text{oc}})1/\tau_{\text{oc}}$ есть величина положительная, поскольку атмосферное время релаксации меньше океанского. Однородный вариант уравнения (4) с нулевой правой частью имеет два решения: $e^{\alpha t}$ и $e^{-\alpha t}$. Характерное время этих экспонент составляет $\alpha^{-1} = 110\text{--}130$ лет, а растущая экспонента всегда побеждает падающую. Следовательно, у человечества в запасе чуть более ста лет, чтобы найти путь от невозвратного роста температуры к более или менее устойчивому климату. Формальное исследование полного уравнения (4) даже при отсутствии выбросов, при $P(t) = 0$, показывает, что температура все равно медленно нарастает. Это означает, что мы уже прошли точку невозврата. Только принудительное восстановление концентрации до уровня $c < c_0$ может вернуть температуру к ее нулевым, доиндустриальным значениям.

Но практически Хансен, скорее всего, прав: концентрация около 350 ppm могла бы оказаться разумно допустимой. Температура при этом к концу столетия повысилась бы на 2–3°C, а уровень океана — на 0.6–1.2 м. Однако последний продолжал бы повышаться еще несколько столетий, поскольку даже в современных условиях происходит быстрое таяние льдов Гренландии и западного побережья Антарктиды. Вообще говоря, медленное наступление моря на сушу не так уж и страшно, население прибрежных поселков может просто переселиться. Но несколько мегаполисов, таких как Нью-Йорк, Гонконг, Санкт-Петербург, к сожалению, пострадают необратимо.

Литература

1. Friedlingstein P., Solomon S., Plattner G.-K. et al. Long-term climate implications of twenty-first century options for carbon dioxide emission mitigation // *Nature Climate Change*. 2011. V.1. P.457–461.
2. Tans P.P., Conway T.J., Nakazawa T. Latitudinal distribution of the sources and sinks of atmospheric carbon dioxide from surface observations and an atmospheric transport model // *J. Geophys. Res.* 1989. V.94. P.5151–5172.
3. Lüthi D., Le Floche M., Bereiter B. et al. High resolution carbon dioxide concentration record 650000–800000 years before present // *Nature*. 2008. V.453. P.379–382.
4. Martinez-Boti M.A., Foster G.L., Chalk T.V. et al. Plio-Pleistocene climate sensitivity evaluated using high-resolution CO₂ records // *Nature*. 2012. V.518. P.49–54.
5. Бялко А.В. Релаксационная теория климата // УФН. 2012. Т.185. С.103–108.
6. Hansen J., Sato M., Kharecha P. et al. Target atmospheric CO₂: Where should humanity aim? // *Open Atmospheric Science Journal*. 2008. V.2. P.217–231.

Неужели ситуация настолько безнадежна? Не совсем. Во-первых, математически формальный подход может иметь свои подводные камни. Во-вторых, вспомним, что здесь рассматривалось взаимодействие атмосферы только с верхним теплым слоем океана. А под ним лежит несколько километров очень холодной и более соленой воды. Если бы мы смогли заставить эти глубинные воды частично перемешиваться с теплыми поверхностными водами, проблема глобального потепления была бы решена. Но разница их плотностей вполне ощутима, и даже при сильных ураганах существенного перемешивания вод не происходит. Для воздействия на климат необходимо заметное изменение системы течений океана.

В связи с этим остановимся на распространяемой в средствах массовой информации идее, что в будущем не исключено некоторое изменение течения Гольфстрима и, как следствие, наступление похолодания в Европе. Гольфстрим — самый значительный океанский поток. Разогреваясь в тропиках, он действительно переносит много тепла на север Атлантики. Но на глобальную температуру планеты это течение само по себе никак не влияет, оно только перераспределяет тепло по поверхности океана. Настоящее же влияние и на Европу, и на климат в целом оказывает начинающееся около Гренландии погружение в глубины океана остывших вод Гольфстрима повышенной солености. Там стартует Великий конвейер — медленный, но мощный поток глубинных вод океана. Вероятно, именно в ходе этого процесса и образовался за десятки тысяч лет колоссальный запас холода океанских глубин. Их средняя температура — всего 3°C. Вот поистине мощный ресурс и наша надежда на преодоление потепления климата! Можем ли мы как-то воздействовать на интенсивность Великого конвейера? Вопрос сложный. Количественные исследования подводных течений Атлантики только начались, говорить о возможных способах управления ими преждевременно. ■

Распознавание эмоций: гены и опыт

М.В.Алфимова

Мы все чаще общаемся дистанционно — говорим по телефону, читаем SMS и посты. При этом мы не видим выражений лиц друг друга. Вместо этой богатой нюансами информации нам приходится довольствоваться ее суррогатом — «смайликами».

Возможно ли, что вскоре мы утратим одну из своих фундаментальных психических способностей — умение распознавать эмоциональную мимику? Мы не знаем, что произойдет с этой способностью в будущем, но можем попробовать разобраться, как она возникает.



Маргарита Валентиновна Алфимова, доктор психологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории клинической генетики Научного центра психического здоровья. Область научных интересов — психогенетика, нейропсихология, генетика шизофрении.

Ключевые слова: эмоциональная мимика, восприятие эмоций, ген *SLC6A4*, 5-HTTLPR, шизофрения.

Key words: facial expressions of emotion, attention bias, gene *SLC6A4*, 5-HTTLPR, schizophrenia.

Способность распознавать эмоции — продукт эволюции: аргументы

Хотя проблема выражения эмоций с помощью лицевых мышц веками привлекала внимание философов, ученых и врачей, но лишь немногие до Ч. Дарвина задавались вопросом, как возникли способности выражать и опознавать эмоции. Представлялось, что для этого достаточно воли Создателя. Дарвин собрал обширный материал, указывающий на эволюционное происхождение выражения эмоций. Он проанализировал данные о животных и о народах, мало общавшихся с европейцами, а также описания душевнобольных и произведения изобразительного искусства (последнее, правда, принесло мало пользы). Кроме того, он, возможно, одним из первых провел эксперимент на распознавание эмоций: предложил разным людям определить, что испытывает человек, изображенный на фотографии. Позднее этот метод стал основным при изучении восприятия эмоциональной мимики. Тем не менее, в заключительной главе сво-

его труда «The Expression of the emotions in man and animals» (1872) Дарвин вынужден был признать: «Хотя большинство наших выразительных движений носит врожденный или инстинктивный характер, с чем все согласны, все же остается неясным вопрос, обладаем ли мы инстинктивной способностью узнавать выразительные движения»*. Хотя и с осторожностью, Дарвин все же предложил эволюционный взгляд на возникновение и этой способности: «Так как большинство выразительных движений, наверное, были приобретены постепенно и лишь впоследствии стали инстинктивными, то можно до некоторой степени априорно заключить, что и узнавание выразительных движений также могло стать инстинктивным».

Пропустим вялотекущий период изучения эмоций, последовавший за открытиями Дарвина, и перенесемся с туманного Альбиона XIX в. в солнечную Калифорнию конца 60-х годов XX в., когда началось активное изучение эмоциональной мимики и ее распознавания. Фундамент этих исследова-

* Цит. по: Дарвин Ч. О выражении эмоций у человека и животных. СПб., 2001. С.337—338.

ний, сегодня превратившихся в настоящий бум, был заложен тремя американскими учеными. Из них широкой публике знаком Пол Экман, автор системы кодирования движений лица и книг о разоблачении лжи с помощью наблюдения за лицевыми мышцами, консультант популярного сериала «Обмани меня» (“Lie to Me”). Специалистам также хорошо известно имя Кэрролла Изарда, создавшего дифференциальную теорию эмоций. О психологе Сильване Томкинсе слышали лишь немногие русскоязычные читатели. Но именно он стал вдохновителем современных исследований выражения и восприятия эмоций человеком. Как вспоминал Экман, к началу 60-х годов господствовало представление, что лицо служит источником неточной и, кроме того, специфической для определенной культуры информации [1]. Одним из редких противников этого мнения был Томкинс, который убедил Экмана взяться за изучение выражений лица и помог спланировать первые межкультурные исследования. Одновременно по этому пути Томкинс направил и Изарда, не предупредив ни одного из них о том, что у него есть конкурент. По словам Экмана, впоследствии, когда он и Изард начали публиковать свои открытия, для них это стало неприятным сюрпризом, однако принесло пользу науке: появилось сразу два независимых источника информации по одному и тому же вопросу.

Оба психолога показали, что существуют общие для всего человечества, или базовые, эмоции (вернее, их семейства). Экман сделал это, опираясь преимущественно на изучение разных рас и культур, включая племена Новой Гвинеи, и на детальное изучение мимических движений. Изард привлек к тому же данные о развитии эмоций у младенцев. В результате каждый предложил свой список базовых эмоций, которые оказались похожи друг на друга и на список, составленный ранее самим Томкинсом. Экман к базовым отнес эмоции радости, удивления, печали, страха, гнева и отвращения. Изард, помимо перечисленных эмоций, добавил чувства интереса, презрения, стыда и вины. Базовые эмоции имеют устойчивое выражение и надежно распознаются в различных сообществах людей, что получило название «принципа универсальности». Это открытие проложило путь для дальнейшего экспериментального изучения эмоций. Интерес специалистов, занятых тогда преимущественно эффектами обучения в выражении и распознавании эмоций, повернулся к роли эволюции и генетики.

Принцип универсальности: контраргументы

Канадский ученый Джеймс Расселл уже в 90-х годах в своем критическом обзоре исследований, восходящих к Экману и Изарду, указал на имеющиеся в них упущения [2]. Одним из них было недостаточно четкое разделение способностей выражать и узнавать эмоции. Другим — неучтенные

культурные различия в восприятии мимической экспрессии. Проанализировав опубликованные данные, которые, казалось бы, могли служить доказательством принципа универсальности, Расселл обнаружил, что точность распознавания даже базовых эмоций зависит от многих факторов, включая принадлежность к определенной культуре и уровень образования. Хотя люди по всему миру на фотографиях определяли эмоции точнее, чем это предусматривало простое угадывание, число верно называвших гнев, страх и отвращение было различным в западных и незападных (африканских и азиатских) выборках студентов. Еще один интересный момент, на который Расселл обратил внимание, — на точное распознавание эмоций влияет знакомство испытуемых из Азии и Африки с европейской культурой. Так, в своем обзоре он ссылается на исследование, проведенное в Эфиопии. Выяснилось, что городские студенты, постоянно соприкасающиеся с западной культурой, значительно лучше узнавали эмоции, чем студенты из отдаленной, относительно изолированной сельской местности. При этом и те и другие одинаково хорошо владели амхарским (государственным) языком, т.е. всей необходимой лексикой для обозначения эмоций.

Впоследствии и другие психологи, детально проанализировав работы, подтверждавшие принцип универсальности, обнаружили ряд культурных различий в восприятии выражений лиц. Оказалось, что в незападных сообществах точность опознания эмоций ниже (иногда значительно) тех 75%, которые демонстрируют североамериканцы и европейцы. Только четыре из шести эмоций (радость, удивление, печаль и гнев) узнаются примерно одинаково легко людьми разной национальности. Помимо этого, в некоторых культурах наблюдаются систематические ошибки. Например, жители Восточной Азии часто принимают страх за удивление, а отвращение за гнев. Наконец, было установлено, что в среднем люди лучше распознают эмоции на лицах представителей своей расы, но этот «эффект другой расы» нивелируется по мере общения человека с представителями других культур.

В наши дни эмоциональную мимику исследуют новыми технологиями. Они, в отличие от более ранних работ, основаны на четком разделении способностей выражать и распознавать эмоции, которое обусловлено их разной ролью в коммуникации. Первая представляет собой передачу сигнала, а вторая — его декодирование, в котором выделяют *восприятие*, т.е. извлечение нужной информации из сигнала, и собственно *опознание* — приписывание выражению лица конкретной эмоции.

Один из важных методов, позволяющих понять, как человек извлекает информацию из мимики лица для опознания эмоции, — это регистрация траектории движений глаз (окулография). С ее помощью можно оценить направление взгляда и длительность его фиксации на определенных

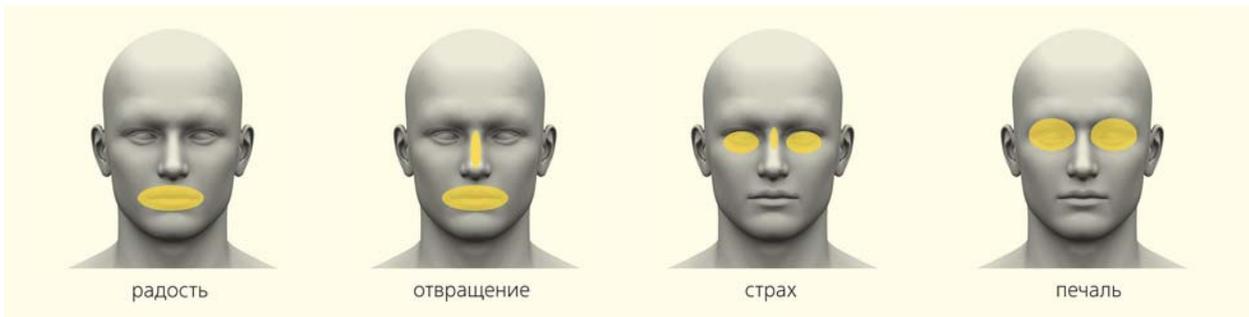


Рис.1. Области наиболее длительной фиксации взгляда при распознавании конкретных эмоций (показаны желтым цветом).

деталей изображения. Используя различные экспериментальные приемы, закрывающие или размывающие некоторые участки изображения, ученые установили, как ведет себя человек при восприятии эмоциональной мимики. Большую часть времени (почти 90%) он фиксирует внимание на центральной части лица — области глаз, между глазами, нижней или верхней части носа, рта (верхней губе). Рисунок фиксации взгляда имеет свою специфику для каждой эмоции (рис.1). Область глаз важнее для восприятия гнева, страха и печали, чем для отвращения и радости. Их распознавание в большей степени (по сравнению с другими), связано с рассматриванием верхней губы. При этом для первоначального опознания эмоции достаточно одной-двух фиксаций взгляда.

Исследователи из Университета Глазго применили окулографию, чтобы выявить универсальное и специфическое в восприятии базовых эмоций у представителей Западной Европы и Восточной Азии [3]. Чтобы нивелировать «эффект другой расы», они использовали фотографии европейцев и азиатов (японцев) из набора «Japanese and caucasian facial expression of emotion», созданного П.Экманом и Д.Мацумото. Данные подтвердили уже известные культурные различия: в то время как европейцы очень точно опознавали все эмоции, азиаты часто принимали страх за удивление, а отвращение за гнев. Оказалось, что европейцы рассматривали все лицо, обращая внимание и на область глаз, и на область рта, а представители Восточной Азии снова и снова фиксировали взгляд на области глаз. С помощью специальной статистической обработки собранных данных (т.е. компьютерного моделирования) удалось показать, что именно игнорирование такой значимой для опознания страха и отвращения части лица, как рот, и ведет к характерным ошибкам восприятия этих эмоций. По сути дела, в

исследовании было окончательно установлено, что существуют культурные различия не только в способе выражения эмоций. Ученые из Университета Глазго подтвердили влияние культуры на распознавание эмоций.

Другой перспективный подход к изучению распознавания эмоций — регистрация активности мозга, сопровождающей этот процесс. В узнавании эмоций участвуют многие мозговые структуры; они связаны с разными процессами и включаются в работу на разных этапах распознавания, так что трудно приписать каждой структуре мозга определенную функцию. Но назвать некоторые ключевые узлы нейросети, участвующей в декодировании эмоциональной мимики, все-таки можно (рис.2). Среди них особое внимание привлекает миндалина — структура мозга (величиной как раз с миндальным орех), расположенная в глубине каждой височной доли. Ей приписывают множество функций в распознавании эмоций, включая присвоение воспринимаемому стимулу эмоционального значения. Миндалины быстро активируются при восприятии испуганных лиц, что указывает на ее важную роль в выживании: она служит механизмом, оповещающим о ранней тревоге. Пока о межкультурных различиях в работе мозга по восприятию



Рис.2. Основные узлы нейросети, обеспечивающей распознавание эмоциональной мимики (показаны оранжевым цветом).

эмоций известно немного. Но уже первые результаты подтвердили «эффект другой расы»: и у европейцев, и у японцев миндалины активировались сильнее при рассматривании испуга на лице представителя своей расы.

Что записано в генах эволюцией?

Итак, опознание даже базовых эмоций в определенной степени зависит от культурной среды. Что же тогда может быть «записано» в генах? В настоящее время наиболее популярна точка зрения о совместной эволюции выражения и распознавания эмоций. Ученые в целом согласны, что сначала выражение разных эмоций возникло в результате биологических особенностей организма в реакции на различные воздействия внешней среды (об этом писал еще Дарвин), а затем приобрело сигнальное значение. Это в свою очередь привело к закреплению определенных механизмов быстрого распознавания эмоций на генетическом уровне. Но что именно стало объектом отбора? На это взгляды ученых расходятся.

В эволюционной психологии в качестве таких объектов рассматриваются модули поведения, имеющие конкретное значение для биологической адаптации. Например, эмоция отвращения связана с отвержением пищи, потенциально вредной для организма, и ее мимическое выражение сигнализирует об этой опасности другим членам сообщества. Можно предположить, что должны существовать отдельные категории эмоций, в основе переживания, выражения и восприятия которых лежат высокоспециализированные механизмы в мозге, выработанные в процессе эволюции и закреплённые генетически. Однако возможно, что эволюции подвержены механизмы более общего назначения. Так, Э.Роллс из Оксфордского университета, один из самых авторитетных специалистов в области нейробиологии эмоций, считает, что объектом эволюции могут быть гены, обеспечивающие работу мозговых систем подкрепления (поощрения) и наказания [4]. В этом случае человек должен иметь врожденную предрасположенность к распознаванию только знака эмоции, а понимание отдельных эмоций основано на усвоении культурных норм и категорий родного языка. Такой механизм обеспечивал бы дополнительную гибкость.

Еще одна гипотеза о соотношении врожденного и приобретенного в распознавании эмоций принадлежит Рашель Джек из Университета Глазго [3]. Она проводит параллель между развитием коммуникации с помощью выражения лица и развитием языка. По ее мнению, древний человек пользовался довольно простой системой эмоциональной коммуникации, возникшей в результате коэволюции с выражением эмоций. Система, состоявшая из нескольких базовых элементов, хорошо различаемых примитивным зрительным мозгом эмоцио-

нальных сигналов, осталась встроенной в современную сложную модель распознавания эмоций. Так, проявления страха и отвращения — эмоций, долгое время считавшихся наиболее примитивными, биологическими в силу их большого значения для выживания, — на самом деле включают базовые элементы (широко открытые глаза, поднятые брови), которые позволяют отнести эти эмоции к более широким категориям. Количество категорий и их смысл для выживания пока нуждаются в уточнении. В связи с этой проблемой Джек обращает внимание на исследования, которые показывают, что разные элементы эмоциональной мимики распознаются с разного расстояния и точек зрения. Например, сморщенный нос — элемент выражения отвращения — виден лишь с близкой дистанции. Таким образом, эти элементы или категории эмоциональных выражений могут говорить либо об угрозе, находящейся на далеком расстоянии от человека (широко открытые глаза), либо о близкой угрозе (сморщенный нос).

Чем обусловлены индивидуальные различия в распознавании эмоций?

Исследования свидетельствуют о существовании не только культурных, но и сугубо индивидуальных особенностей распознавания эмоций. Эти особенности, оказывается, тесно связаны с целью смотрящего, его настроением, возрастом, стереотипами, которые он разделяет, а также с темпераментом и характером. Например, при восприятии испуганного лица эмоционально неустойчивые люди дольше фиксируют взгляд на области глаз, чем эмоционально стабильные. Индивидуальные особенности восприятия эмоций, возможно, обусловлены генами. Во всяком случае на это указывают данные, полученные методами молекулярной генетики.

Современные технологии позволяют определять, какие формы конкретного гена содержит генотип того или иного человека, а затем на основании этого узнавать, как конкретные гены могут влиять на индивидуальные различия в разных способностях, включая восприятие эмоций. Среди многих генов, действующих в центральной нервной системе человека, наибольшее внимание в связи с распознаванием эмоций вызывает ген *SLC6A4*. Он кодирует белок, который переносит серотонин из синаптической щели назад в пресинаптический нейрон, ограничивая тем самым действие серотонина в мозге. Активность гена переносчика серотонина зависит от числа повторов небольшого фрагмента ДНК в промоторной области (он запускает работу гена). Этот участок (его обозначают 5-HTTLPR) может быть коротким или длинным. В случае аллеля с коротким фрагментом активность гена и, следовательно, белка-переносчика ниже.

Интерес к гену *SLC6A4* объясняется тем, что ранее была обнаружена связь между наличием в геноме человека короткого аллеля и повышенным риском развития у него тревоги и депрессии в ответ на неблагоприятные события жизни. Из-за этого стали интенсивно изучать механизмы, которые могли бы объяснить выявленную связь. Вероятно, одним из них может быть повышенная чувствительность некоторых людей к сигналам угрозы, в том числе к испуганным и разгневанным лицам. Выяснилось, что взрослые здоровые люди, имеющие короткий аллель, как правило, более внимательны к лицам, выражающим страх или гнев, лучше их распознают, а также чаще приписывают нейтральным лицам негативное выражение. Кроме того, у них при восприятии испуганных и разгневанных лиц повышается активность миндалины, а ее связь с лобными отделами мозга, которые должны «держат миндалину под контролем», изменена. Однако, похоже, закономерности эти не универсальны.

Американские психологи провели эксперимент, в котором попытались оценить, как влияет опыт и ген переносчика серотонина на восприятие эмоций детьми 8–12 лет [5]. В разных местах экрана одновременно появлялись два изображения: лицо актера, выражавшее радость, печаль или гнев, и то же лицо с нейтральным выражением. Затем лица исчезали, и на месте одного из них появлялась точка. Ребенок должен был, как можно быстрее, ответить с помощью нажатия на определенную клавишу, с какой стороны находится точка. В подобном «опыте с точкой» люди отвечают быстрее, если точка предьявляется на месте того изображения, к которому было привлечено внимание испытуемого. Сначала ученые оценили, как на ответы ребенка влияет депрессия матери. Оказалось, что дети больных матерей избегают смотреть на печальные лица, причем этот эффект выражен у детей с коротким аллелем и практически не заметен у детей без него. Далее исследователи проверили влияние критического отношения матери к ребенку: ее просили в течение пяти минут рассказать о своем чаде. Проанализировав высказывания матерей, эксперты разделили их на высоко- и низкокритичных. И снова у детей с длинным аллелем поведение матери не повлияло на восприятие эмоций. В то же время дети критичных матерей с коротким аллелем реагировали на точку медленнее, если она предьявлялась на месте разгневанного лица, т.е. они избегали разгневанных лиц.

В Научном центре психического здоровья мы изучили связь гена переносчика серотонина с распознаванием эмоций больными шизофренией, у которых ген действует в условиях измененной не только внешней, но и внутренней среды организма. Хорошо известно, что больные шизофренией распознают мимическую экспрессию эмоций хуже, чем здоровые. Это выражается в размытых границах между эмоциями, их замедленном распознавании, а также в сниженной активности миндалины при восприятии эмоциональных лиц.

В исследовании участвовало более 200 пациентов и 200 здоровых добровольцев. Каждый должен был назвать эмоции, изображенные на девяти черно-белых фотографиях, взятых из монографии К.Изарда, где они иллюстрировали типичные мимические выражения радости, удивления, печали, страха, гнева, отвращения, презрения, стыда и интереса [6]. В соответствии с нашими ожиданиями больные справлялись с этой задачей хуже, чем здоровые (рис.3). Особенно это касалось распознавания отрицательных эмоций. Наименее точно пациенты оценивали испуганное лицо. Степень нарушений была больше у пациентов с коротким аллелем (рис.4). Влияние гена на распознавание эмоций обнаруживалось и тогда, когда мы учитывали степень тревожности, нарушения внимания и памяти, остроту состояния больного или выраженность отдельных симптомов. Мы предполагали, что эффект гена обусловлен в первую очередь его влиянием на распознавание страха. Однако оказалось, что пациенты с коротким аллелем чаще, чем пациенты с длинными аллелями, ошибались в оценке гнева, отвращения и презрения.

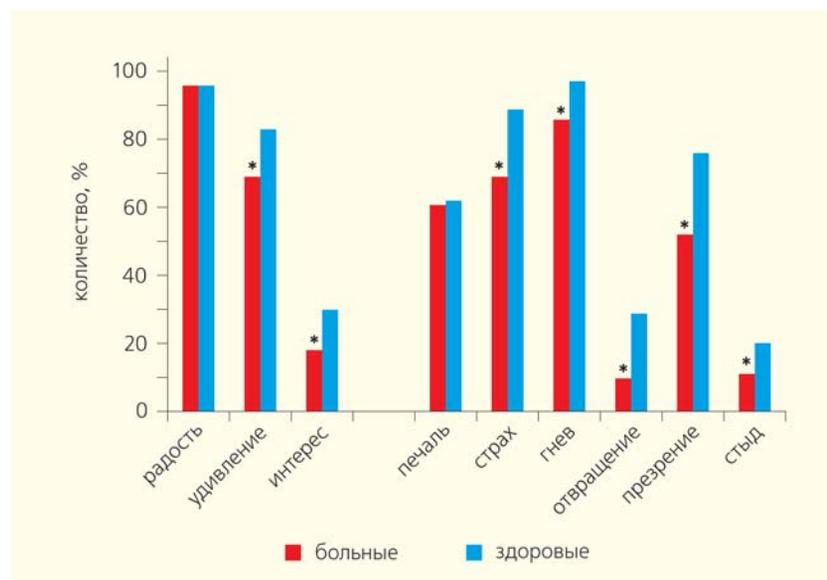


Рис.3. Количество (%) больных шизофренией и здоровых, верно распознавших эмоцию, изображенную на фотографии. Представлены данные для 289 больных шизофренией и 227 здоровых испытуемых. Звездочкой отмечены статистически достоверные различия.

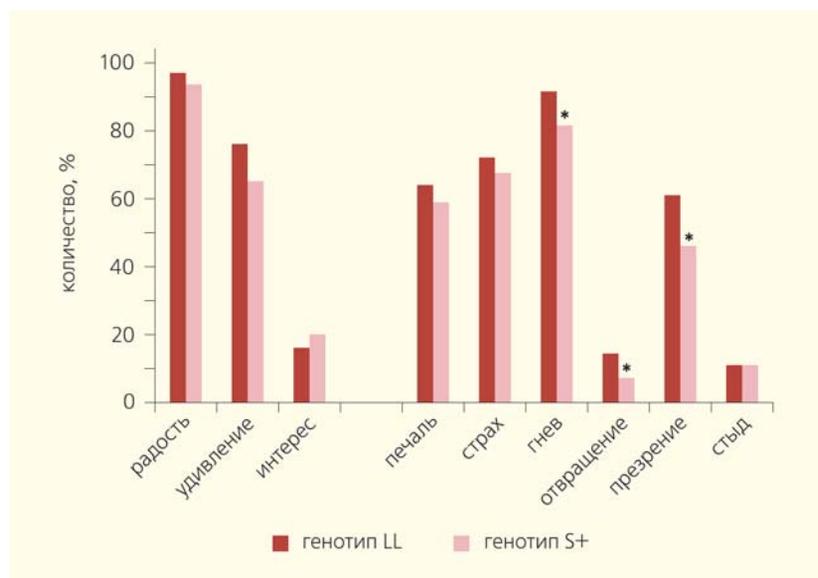


Рис.4. Количество (%) больных с генотипом, содержащим два длинных аллеля гена переносчика серотонина (LL), и больных, в генотипе которых присутствует хотя бы один короткий аллель (S+), верно распознавших эмоцию по фотографии. Звездочкой отмечены статистически достоверные различия.

Эти эмоции Изард относил к враждебной триаде. Важную роль в эмоциональной подготовке к столкновению с противником он приписывал презрению. В современной эволюционной психологии оно рассматривается как выражение социального доминирования, которое играет очень важную роль в поддержании порядка в иерархически организованных сообществах приматов. Возможно, повышенная трудность узнавания гнева и презрения больными с коротким аллелем есть следствие социальной специфики этих эмоций, как выражающих превосходство и неодобрение. Эта трактовка перекликается с не раз высказанной идеей о связи гена переносчика серотонина с адаптацией приматов к жизни в сложных социальных группах и, в частности, с чувствительностью макака и человека к социальному отверже-

нию. Однако больные шизофренией с коротким аллелем были, подобно детям критичных матерей, не сверхчувствительны, а напротив, слепы к гневу и презрению. Похоже, короткий аллель переносчика серотонина способствует тому, что незрелый или пораженный болезнью мозг «не хочет» узнавать эмоции, которые связаны с наиболее сильными неприятными переживаниями. В пользу этой гипотезы свидетельствуют результаты недавнего испанского исследования — больные шизофренией узнавали эмоции на фотографиях лиц своих близких еще хуже, чем на стандартных фотографиях из набора Экмана [7].

* * *

Дарвин, пытаясь понять, может ли способность распознавать эмоции быть врожденной, пристально наблюдал за своим первым ребенком. Одного наблюдения оказалось недостаточно для решения вопроса. Современные экспериментальные исследования определенно указывают, что врожденными оказываются по меньшей мере некоторые элементы восприятия эмоциональной мимики. Показано, в частности, что схематические изображения, похожие на лица, привлекают внимание новорожденных. Однако несомненно, что развитие и настройка психического аппарата для распознавания эмоций продолжается на протяжении жизни. Важнейшую роль в этом играет развитие языка и накопление знаний о себе и других людях. Но и гены, похоже, продолжают во многом определять, как мы пользуемся этой способностью и как пропускаем новую информацию через сито нашего опыта. ■

Литература

1. *Eckman P.* Facial expression and emotion // *American Psychologist.* 1993. V.48. №4. P.384—392.
2. *Russell J.A.* Is There Universal recognition of emotion from facial expression? A review of the cross-cultural studies // *Psychological Bulletin.* 1994. V.115. №1. P.102—141.
3. *Jack R.E., Garrod O.G.B., Yu H. et al.* Facial expressions of emotion are not culturally universal // *PNAS.* 2012. V.109. №19. P.7241—7244. Doi:10.1073/pnas.1200155109.
4. *Rolls E.T.* Emotion explained. Oxford, 2005.
5. *Gibb B.E., Johnson A.L., Benas J.S. et al.* Children's 5-HTTLPR genotype moderates the link between maternal criticism and attentional biases specifically for facial displays of anger // *Cogn. Emot.* 2011. V.25. №6. P.1104—1120. Doi:10/1080/02699931.2010.508267.
6. *Изард К.* Эмоции человека. М., 1980.
7. *Labera G., Herrera S., Fernández C. et al.* Familiarity and face emotion recognition in patients with schizophrenia // *Compr. Psychiatry.* 2014. V.55. №1. P.199—205. Doi:10/1016/j.comppsy.2013.06.006.

SERS — изучение цитохрома c в живых митохондриях

Э.И.Никельшпарг

Жалюзи опущены. Выключен свет. Мы погружены во мрак. Капля мутной жидкости падает на серебряную подложку. Вспышка зеленого света. 30 секунд. Спектр. Так начинается наш длинный рабочий день. А теперь обо всем по порядку.

Капля мутной жидкости — это суспензия митохондрий, клеточных органелл размером всего 1–2 мкм. Правда, органеллами они стали не сразу: согласно теории симбиогенеза, митохондрии появились в эукариотических клетках как бактериисимбионты и за миллиарды лет обросли множеством функций.

В митохондриях протекают сложнейшие биохимические и биофизические процессы. Основные из них: окисление питательных веществ и производство молекул АТФ — универсального источника энергии для большинства биологических процессов в клетках. Кроме того, митохондрии участвуют в инициации апоптоза, старении клеток, продукции активных форм кислорода, метаболизме лекарств, выработке тепла, запасают в себе ионы кальция, синтезируют некоторые гормоны и т.д. [1].

Митохондрии обладают столь широким спектром функций, что нарушение их работы может стать причиной множества болезней: различных видов миопатий (атрофии мышц), сердечно-сосудистых заболеваний, диабета и др. [2]. Большинство из них



Эвелина Ильинична Никельшпарг, аспирантка кафедры биофизики биологического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова. Область научных интересов — структура и функционирование митохондрий, спектроскопия гигантского комбинационного рассеяния, фотобиология. Победитель конкурса «Био/мол/текст» 2015 г. в номинации «Своя работа».

Ключевые слова: митохондрия, цитохром c, спектроскопия гигантского комбинационного рассеяния.

Key words: mitochondria, cytochrome c, surface enhanced Raman spectroscopy.

связаны с мутациями в генах, кодирующих белки митохондрий, но может быть и наоборот: некоторые заболевания или неправильный образ жизни (ожирение, употребление наркотиков и т.д.) могут привести к нарушению работы митохондрий. Механизмы этих процессов волнуют прежде всего биологов, но и для физиков митохондрии представляют большой интерес как преобразователи энергии и фактически белковый электропровод [3].

Как все устроено

Митохондрии состоят из двух мембран: внешней, проницаемой для ионов и некоторых белков, и внутренней, где находятся четыре белковых комплекса дыхательной цепи (или электрон-транспортной цепи, ЭТЦ) и АТФ-синтаза (рис.1). Внутренняя мембрана образует множество складок, называемых кристами (от лат. *crista* — гребень), и ограничивает внутреннее пространство — матрикс, где содержатся ферменты цикла трикарбоновых кислот, или цикла Кребса. Также в митохондриях есть подвижные элементы комплекса дыхательной цепи: водорастворимый белок цитохром c и жирорастворимый убихинон, также известный как кофермент Q.

Принцип работы дыхательной цепи — окисление субстратов, поступающих из цикла Кребса, и перенос электронов от них с помощью кофакторов ЭТЦ на конечный акцептор — кислород. Есть определенная закономерность в последовательности переноса элект-

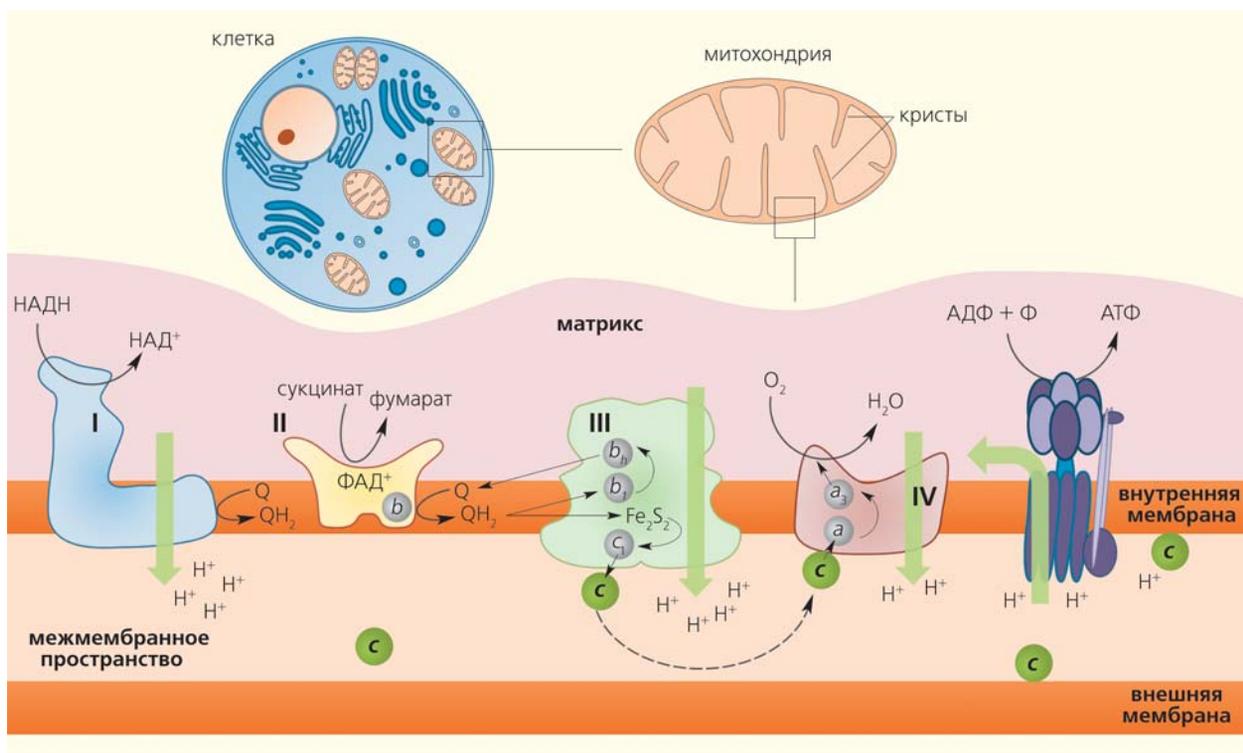


Рис.1. Комплексы дыхательной цепи, локализованные во внутренней мембране митохондрий. I — фермент НАДН-дегидрогеназа окисляет НАДН с передачей двух электронов на убихинон (Q), при этом из матрикса в межмембранное пространство поступает четыре протона; II — фермент сукцинатдегидрогеназа связывает кофактор ФАД и окисляет сукцинат до фумарата с восстановлением Q; так как эта реакция дает меньше энергии, чем окисление НАДН, комплекс II не осуществляет перенос электронов; III — цитохром bc_1 -комплекс (тип цитохрома показан в серых кружках) катализирует две реакции: окисление Q и восстановление цитохрома c, при этом два протона, высвобождаемые QH_2 , уходят в межмембранное пространство; IV — фермент цитохромоксидаза окисляет цитохром c (зеленые кружки) и восстанавливает кислород (электроны переносятся на кислород, и протоны перекачиваются из матрикса в межмембранное пространство, при этом кислород восстанавливается до воды), затем АТФ-синтаза использует полученную энергию (протоны) для синтеза АТФ из АДФ и неорганического фосфата. Черными стрелками показан транспорт электрона, пунктирной стрелкой — диффузия цитохрома c от комплекса III к IV, зелеными стрелками — перенос протона.

ронов: они поступают от донора с более отрицательным окислительно-восстановительным потенциалом, или редокс-потенциалом ($E_{red/ox}$, от англ. reduction — восстановление, oxidation — окисление), к акцептору с более положительным $E_{red/ox}$. Таким образом, электрон как будто движется вниз по течению, определяемому $E_{red/ox}$ переносчиков электрона. Во время переноса электронов некоторые комплексы дыхательной цепи закачивают протоны из матрикса в межмембранное пространство, тем самым создавая электрохимический потенциал на внутренней мембране митохондрий, который используется для синтеза АТФ (см. рис.1) [1].

Замечу, что митохондрии — очень популярный объект исследования. Их изучали такие корифеи науки, как Х.А.Кребс, П.Д.Митчелл, А.Л.Ленинджер, Б.Чанс, В.П.Скулачев и многие другие, и благодаря им известно об этих органеллах уже немало, но еще не все. Многие митохондриальные процессы и свойства переносчиков электронов до сих пор не изучены, что связано в первую очередь

с отсутствием подходящих неинвазивных методик. В прошлом году мы, сотрудники лаборатории биофизики клетки биофака МГУ имени М.В.Ломоносова, вместе с коллегами, работающими на других факультетах нашего университета и в Институте общей и неорганической химии им.Н.С.Курнакова РАН, а также с учеными из Германии и Дании создали методику для селективного исследования конформации гема цитохрома c непосредственно в живых митохондриях [4]. Что же такое конформация гема и почему она важна?

Редокс-потенциал и конформация гема

Если приглядеться к комплексам дыхательной цепи, локализованным во внутренней мембране митохондрий, то в трех из них можно увидеть цитохромы — гемсодержащие белки, которые служат кофакторами, участвующими в переносе электронов, и еще один, который диффундирует в меж-

мембранном пространстве (см. рис.1). Всего в митохондриях имеется три типа цитохромов — *a*, *b* и *c*. Они очень похожи, отличаются лишь боковыми радикалами (рис.2).

Во время переноса электрона меняется редокс-состояние атома железа (Fe^{3+}/Fe^{2+}), который располагается в геме цитохромов, что приводит к изменению его конформации. Эти два параметра ($E_{red/ox}$ и конформация гема) всегда связаны друг с другом. Конформация гема цитохромов также зависит от белкового окружения [5, 6]. А так как $E_{red/ox}$ определяет эффективность переноса электрона, то конформация гема — вещь важная. Кроме того, чтобы произошел перенос электрона с одного цитохрома на другой, нужно, чтобы их гемы находились на определенном расстоянии друг от друга и были правильно ориентированы. Поэтому любые изменения в цитохромах могут отражаться на эффективности переноса электрона, т.е. на работе всей дыхательной цепи и, как следствие, энергообеспечения клеток [7, 8].

Наиболее интересен в этом отношении цитохром *c*. Так как это единственный мобильный переносчик электронов, курсирующий в межмембранном пространстве (все остальные цитохромы заякорены в комплексах ЭТЦ), он наиболее подвержен изменениям, которые могут происходить в митохондриях. Помимо этого выход цитохрома *c* запускает каскад реакций, ведущих к апоптозу, и в этом процессе тоже важен его редокс-потенциал [9].

Возникает вопрос, как оценить $E_{red/ox}$ и понять, в какой конформации и в каком редокс-состоянии находится гем цитохрома *c* в митохондриях?

Численно определить $E_{red/ox}$ можно с помощью электрохимических методов. Однако для этого нужные комплексы ЭТЦ изолируют и помещают в совершенно иные условия среды, что может само по себе изменить их свойства. Благодаря таким мощным методам, как ядерно-магнитный резонанс и рентгеноструктурный анализ, мы знаем, в какой конформации находятся белки и кофакторы дыхательной цепи в окисленной и восстановленной форме. Но нас интересует их состояние в максимально естественных условиях, а также соотношение этих состояний при работе дыхательной цепи.

Существует несколько неинвазивных методов для определения окислительно-восстановительного состояния цитохромов. Например, абсорб-

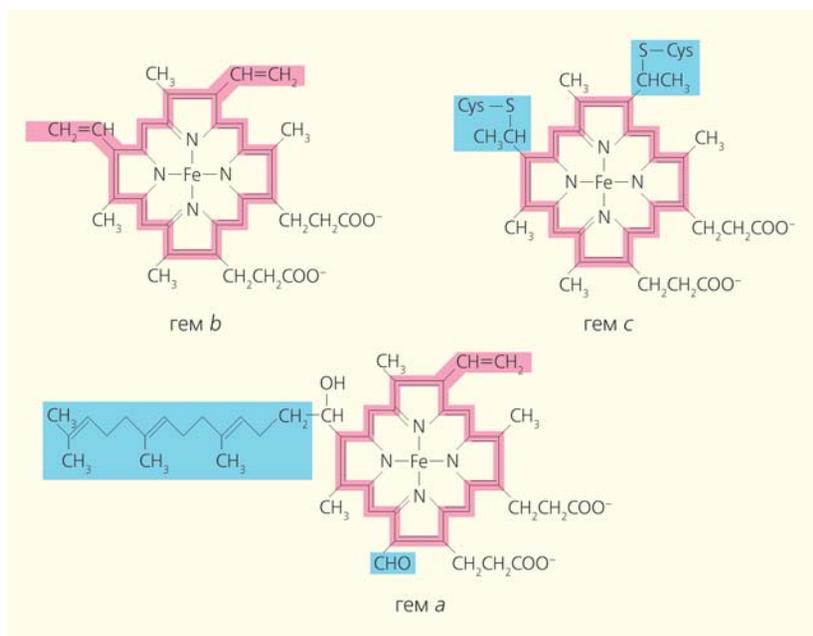


Рис.2. Гемы цитохромов разных типов. Каждый гем состоит из четырех пятичленных азотсодержащих циклов (порфиринов), связанных между собой [1]. Атомы азота координируют атом железа (Fe). Гемы отличаются боковыми группами, и только гем типа *c* связан с белком ковалентно.

ционная спектроскопия, основанная на использовании способности вещества к избирательному поглощению световой энергии. Спектр поглощения митохондрий включает спектр всех имеющихся цитохромов в митохондриях, а также небелкового компонента — ФАД, который входит в состав фермента сукцинатдегидрогеназы (II компонент дыхательной цепи, см. рис.1). Но из-за того, что все типы цитохромов очень похожи и, соответственно, обладают схожими спектрами поглощения, а их окислительно-восстановительное состояние все время меняется при нормальной работе дыхательной цепи, сложно оценить вклад различных цитохромов в спектр [10].

По спектрам флуоресценции НАДН и ФАД⁺ можно примерно оценить редокс-состояние только I и II комплексов дыхательной цепи. А по потенциалу на внутренней мембране митохондрий можно судить только о работе митохондрии в целом [11].

Напрямую получение информации о конформации и редокс-состоянии цитохрома *c* в целой и функционирующей (интактной) митохондрии — это крайне сложная задача, ведь его конформация постоянно меняется при работе дыхательной цепи, он диффундирует и взаимодействует с мембранными комплексами. Наличие метода, который позволял бы это сделать, значительно облегчило бы задачу и расширило знания о влиянии цитохрома *c* на активность ЭТЦ и его вкладе в развитие митохондриальных патологий.

Новые возможности старого метода

Исторически в нашей лаборатории для изучения конформационных состояний различных биологических молекул используют метод комбинационного рассеяния света (КР). Это явление основано на эффекте неупругого (рамановского, или комбинационного*) рассеяния оптического излучения на молекулах вещества. При обычном (упругом, или рэлеевском) рассеянии частота (и длина волны) излучения не меняется, а при неупругом — меняется. Это выражается в появлении дополнительных линий (линий КР) на спектре рассеяния (рис.3). Какую же информацию он несет?

Под «взаимодействием» света с молекулой подразумевается энергетический обмен между фотонами и колебательными подуровнями энергии молекулы. Это означает, что спектр КР несет в себе информацию о колебаниях атомов в молекулах исследуемого вещества. Строго говоря, разность частот возбуждающего и рассеянного света ($\Delta\nu$) характеризует нормальные частоты колебаний молекулы в целом. Большинство пиков на спектре КР обусловлено колебаниями сразу нескольких химических связей в молекуле, но некоторые пики описывают колебания определенных групп атомов (рис.4) [12, 13]. С помощью таких ключевых колебаний можно определить, с чем мы имеем дело — с липидами, белками, ДНК, порфиринами или другими молекулами. И для каждой молекулы будет свой неповторимый спектр КР — нечто вроде «отпечатков пальцев» молекулы. И так же, как по отпечаткам пальцев можно различить близнецов, по спектрам КР можно отличить схожие по строению молекулы. Поэтому метод чрезвычайно популярен среди химиков-аналитиков и физиков, а также применяется в археологии, экологии, геологии и даже в криминалистике.

Первые биологические эксперименты с использованием метода КР велись еще в 1935 г. на аминокислотах. Однако, повторюсь, работы на изолированных молекулах не столь интересны для биологов, а для работы на целых клетках сигнал КР обла-

* Впервые появление новых линий в спектре рассеянного света на кристаллах кварца наблюдали в 1928 г. наши соотечественники Г.С.Ландсберг и Л.И.Мандельштам, которые назвали увиденное комбинационным рассеянием света. Вскоре это явление наблюдали индийские ученые Ч.В.Раман и К.С.Кришнан на жидкостях, используя в качестве источника света солнечные лучи. Впоследствии за открытие эффекта неупругого рассеяния света только Раман был удостоен Нобелевской премии (1930), а метод, основанный на этом оптическом эффекте, стал носить его имя — рамановская спектроскопия (Raman spectroscopy, RS). Однако в русскоязычной литературе чаще используется название, введенное Ландсбергом и Мандельштамом, — «комбинационное» рассеяние, спектр которого составляет комбинация частот возбуждающего света и собственных колебаний молекулы [12].

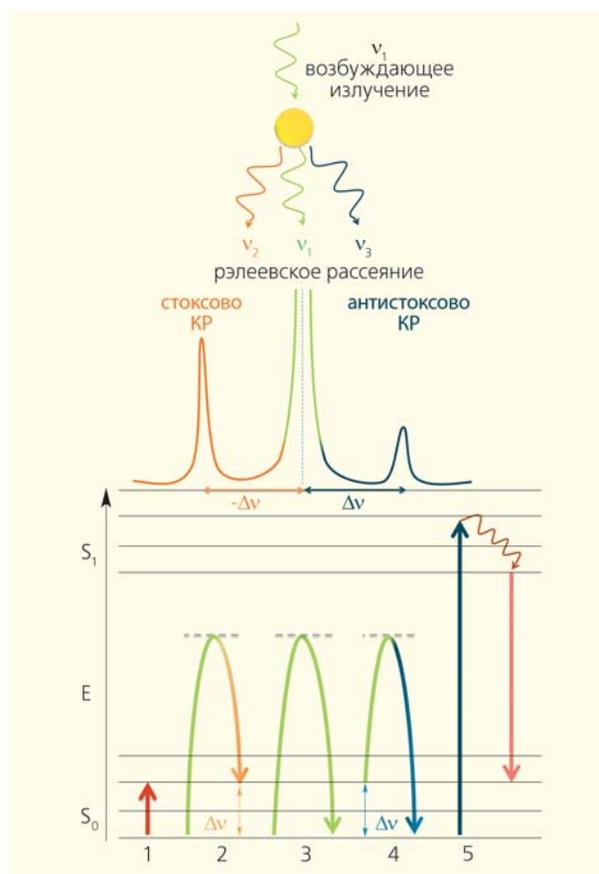


Рис.3 Рассеяние света на молекуле, устройство спектров комбинационного рассеяния света (КР) и схема переходов между колебательными подуровнями и электронными уровнями молекулы. Спектры КР представляют зависимость интенсивности сигнала от частотного сдвига, $\Delta\nu$ [см⁻¹], а не от длины волны. В этом случае спектры не зависят от выбора лазера и их можно сравнивать. S_0 и S_1 — основной и первый возбужденный электронные уровни со структурой колебательных подуровней. Серой пунктирной линией обозначен виртуальный подуровень (в случае, когда энергии кванта не хватает для перехода на существующий подуровень). 1 — поглощение кванта инфракрасного (ИК) излучения приводит к переходу молекулы на новый колебательный подуровень; 2 — стоксово КР наблюдается, когда молекула находится в невозбужденном состоянии и при взаимодействии со светом переходит на более высокий колебательный подуровень, при этом энергия рассеянного света меньше энергии возбуждающего света (зеленый → оранжевый); 3 — рэлеевское рассеяние, не приводящее к изменению энергии (и, соответственно, длины волны) возбуждающего света; 4 — антистоксово КР наблюдается в случае, если молекула находится в возбужденном состоянии и при взаимодействии со светом переходит на нижний колебательный подуровень, при этом энергия рассеянного света будет больше энергии возбуждающего света (зеленый → синий); 5 — флуоресценция: квант света вызывает электронно-колебательный переход, после чего наблюдается релаксация (бордовая фигурная стрелка) и испускание света с меньшей энергией (синий → красный).

дает низкой интенсивностью (и это один из существенных недостатков метода), поэтому метод не получил широкого распространения. И только в 1990 г., после совмещения КР-спектрометра с конфокальным микроскопом, появилась возможность регистрировать КР целых клеток или отдельных их участков. В последние годы метод наконец-то приобрел популярность, притом заслуженную, так как КР-спектроскопия обладает существенными преимуществами перед другими методами, и главное, позволяет получать эксклюзивную информацию.

Основное преимущество КР-спектроскопии — неинвазивность, т.е. с помощью этого метода можно изучать биохимический состав клеток, не разрушая их. Кроме того, не нужно использовать метки или зонды, как для флуоресцентной микроскопии. Это означает, что можно изучать систему (в нашем случае клетку) в естественных условиях, а это крайне важно, учитывая, что многие из существующих меток (как флуоресцентных, так и изотопных) токсичны. К тому же исчезает проблема выцветания меток и появляется возможность исследовать небольшие молекулы, к которым трудно «пришить» метку. Важно также, что метод КР позволяет работать с водными растворами, в том числе с физиологическими буферами, в отличие от ИК-спектроскопии, так как вода сильно поглощает в ИК-области.

Что касается эксклюзивной информации, то это в первую очередь информация о конформации исследуемых молекул и микроокружении функциональных групп. А от этих параметров может зависеть и активность молекул в клетке, и взаимодействие с другими молекулами, т.е. то, что влияет на работу целой клетки. Исследовать конформацию молекул — это сложная экспериментальная задача. Для ее решения можно использовать ИК-спектроскопию, но опять же только на высушенных образцах. Можно применять более сложные и дорогие технологии, такие как рентгеноструктурный анализ и ЯМР. Эти методы позволяют получать целостную картину расположения атомов в молекуле, но очевидно, их пока нельзя использовать для изучения молекул в живой клетке. А КР-спектроскопию можно: в зависимости от того, в какой конформации находится молекула, атомы будут колебаться по-разному, что отразится на спектрах.

К митохондриям от чистого сердца

О неинвазивном методе исследования цитохромов митохондрий в клетках сотрудники нашей лаборатории задумывались уже несколько лет назад, когда исследовали влияние окислительного стресса на клетки сердечной мышцы (кардиомиоциты) методом комбинационного рассеяния света [14]. Тогда удалось выяснить, что спектры КР

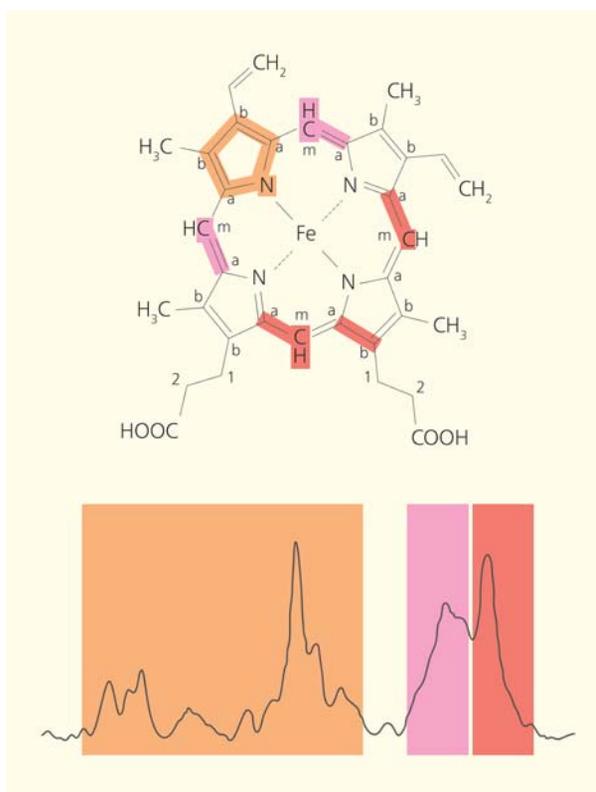


Рис.4. Гем типа *b*, который содержится в гемоглобине эритроцитов, и его спектр КР [13]. Различные группы атомов и соответствующие им пики обозначены одним цветом.

разных типов цитохромов и миоглобина (который, как и гемоглобин, содержит гем типа *b*) можно различать по спектрам КР интактных клеток и даже определять их окислительно-восстановительное состояние. Позже Н.А.Браже с другими сотрудниками успешно провела подобное исследование на целом сердце, т.е. *in situ* (рис.5) [15].

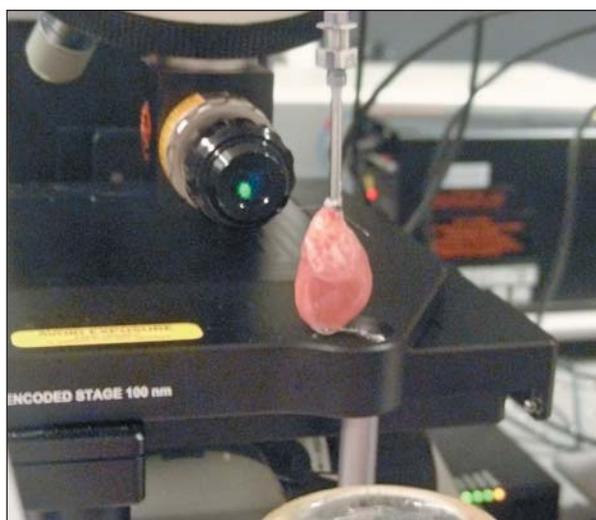


Рис.5. Регистрация спектра КР целого сердца [15].

Однако у цитохромов есть одна особенность — только для восстановленных их форм спектр КР интенсивен. Если ориентироваться только на этот критерий, можно потерять важную информацию об изменениях в исследуемой системе, ведь интенсивность зависит и от количества молекул, и от выраженности тех или иных колебаний, и от других параметров. К тому же для определения точного положения пиков большинство исследователей, имеющих дело с цитохромами, вынуждены искусственно восстанавливать образцы, что заведомо нарушает их нативность.

Отчасти проблему решили японские ученые. Они определили, какие пики на спектре КР характерны только для восстановленных цитохромов, а какие — только для окисленных [16]. Однако проблема интенсивности спектров по-прежнему сохранялась, и нужно было ее решать.

Один из способов усилить сигнал КР — это поместить исследуемую молекулу вблизи наночастицы благородного металла, например золота или серебра. Эти металлы обладают свободными поверхностными электронами. Квант их коллективных колебаний называется плазмонами. Если частота падающего света входит в резонанс с частотой колебаний поверхностных электронов металла, то возникает эффект плазмонного резонанса, который приводит к многократному усилению электромагнитного излучения вблизи наночастицы. Этот эффект используют в методе поверхностного плазмонного резонанса (surface plasmon resonance, SPR), в абсорбционной и флуоресцентной спектроскопии. Но нам нужен был способ, позволяющий усилить именно КР-сигнал. И для этого существует спектроскопия гигантского комбинационного рассеяния (SERS, англ. Surface enhanced Raman spectroscopy).

Спектры КР и SERS цитохрома с хорошо известны [17, 18]. И что самое замечательное, спектры SERS окисленного и восстановленного цитохрома с практически не отличаются по интенсивности. Так почему бы не зарегистрировать спектр SERS митохондрий?

Идея пришла от профессора Копенгагенского университета О.В.Сосновцевой, с которой наша лаборатория сотрудничает не первый год. На тот момент было только две работы по изучению митохондрий методом SERS и его разновидностью TERS (Tip-enhanced Raman spectroscopy). В первой работе исследователи регистрировали спектр SERS только от белков и липидов митохондрий, но не от цитохромов, а во второй работе — использовали не нативные, а высушенные митохондрии [19, 20].

Но как применить метод SERS для изучения цитохромов живых митохондрий? Прежде чем ответить на этот вопрос, переместимся в недалекое прошлое.

Междисциплинарность — залог успеха

В 2010 г., когда возник интерес к нанотехнологиям, академик Ю.Д.Третьяков (в то время декан факультета наук о материалах МГУ) инициировал межфакультетское сотрудничество с биологами для проведения совместных исследований методом SERS. Так началась совместная работа нашей лаборатории под руководством Г.В.Максимова с группой химиков-материаловедов во главе с Е.А.Гудиным.

Дело в том, что SERS — метод непростой и требует исключительно междисциплинарного подхода. Каждый биологический объект уникален, и чтобы зарегистрировать от него сигнал SERS, нужно разрабатывать особые наноструктуры, которые усиливали бы сигнал от нужного объекта, при этом не повреждали его и выдерживали «атаку» физиологических многокомпонентных буферов.

Большинство работ, связанных с SERS, предполагают адсорбцию молекул на поверхности наноструктур, пусть даже введенных внутрь клетки [21]. Это связано с тем, что усиление сигнала КР наблюдается только на очень небольшом расстоянии от поверхности металла [22]. Однако такой подход не всегда удовлетворяет запросам биологов. В идеале усиление сигнала должно распространяться на достаточно большое расстояние (только так можно работать с целыми клетками и органеллами, не повреждая их), и желательно не вводить ничего внутрь. Для этой цели нужно было разработать специфический дизайн наноструктур и придумать методы их синтеза, чем и занялась группа Гудиной.

Наконец длительные и упорные попытки разработать такие структуры для исследования живых клеток увенчались успехом. В 2012 г. дебютировали наноструктурированные подложки для усиления сигнала от примембранного гемоглобина в интактных эритроцитах [13]. За счет определенной морфологии наноструктур удалось получить усиление сигнала на расстоянии более 10 нм, т.е. больше толщины мембраны эритроцита.

Раз это удалось сделать для эритроцитов, то можно сделать и для митохондрий!

Долгожданный спектр SERS митохондрий

Жалюзи опущены. Выключен свет. Комната погружена во мрак. Капля суспензии падает на серебряную подложку. Вспышка зеленого света. 30 секунд. Спектр. Тот самый долгожданный спектр SERS от изолированных сердечных митохондрий был получен! Оставалось только понять, от каких именно структур в митохондриях исходит сигнал.

С учетом размеров компонентов митохондрий (рис.6) и того, что усиление наблюдается на расстоянии нескольких нанометров от наноструктур, можно было предположить, что спектр SERS мито-

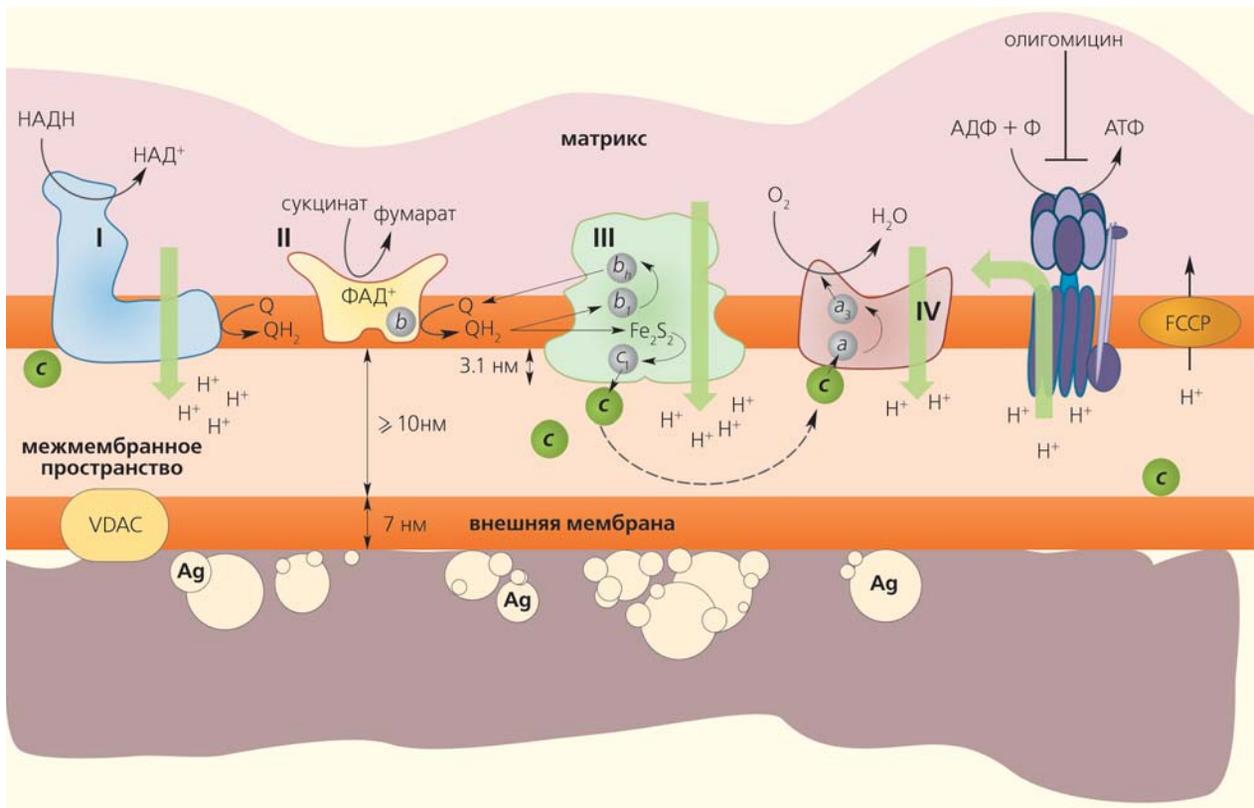


Рис.6. Схема эксперимента на изолированных сердечных митохондриях, помещенных на серебряную наноструктурированную поверхность и облученных зеленым лазером [4]. На рисунке показаны размеры мембраны, межмембранного пространства и участков комплекса дыхательной цепи. VDAC — потенциал-зависимый анионный канал, FCCP — протонатор, разобщающий электронный транспорт и синтез АТФ, олигомицин — ингибитор АТФ-синтазы, зеленые и серые кружки — цитохромы.

хондрий будет преимущественно спектром цитохрома *c*, так как этот цитохром наиболее близко подходит ко внешней мембране митохондрий и, соответственно, к наноструктурам. В то же время остальные цитохромы закреплены в комплексах внутренней мембраны. Это также подтверждалось при моделировании эффектов усиления КР серебряными наноструктурами, которые были использованы в работе. Группа наших коллег из лазерного центра Ганновера показала, что сложная морфология подложки со множеством углублений, в которые могут попадать митохондрии, позволила получить усиление на большом расстоянии (более 10 нм). А иерархическое устройство самих наноструктур увеличивало число мест контакта с мембраной митохондрий и, следовательно, количество молекул цитохрома *c*,

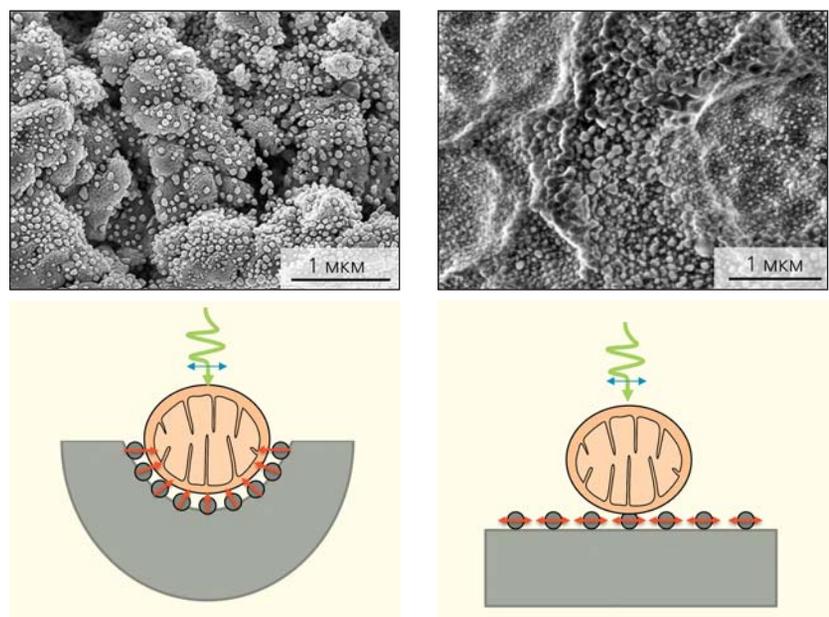


Рис.7. Изображения иерархических наноструктур (вверху слева) и наночастиц на плоской поверхности (справа), полученные на сканирующем электронном микроскопе [4]. Под каждой микрофотографией приведены соответствующие им модели взаимодействия митохондрий с этими структурами.

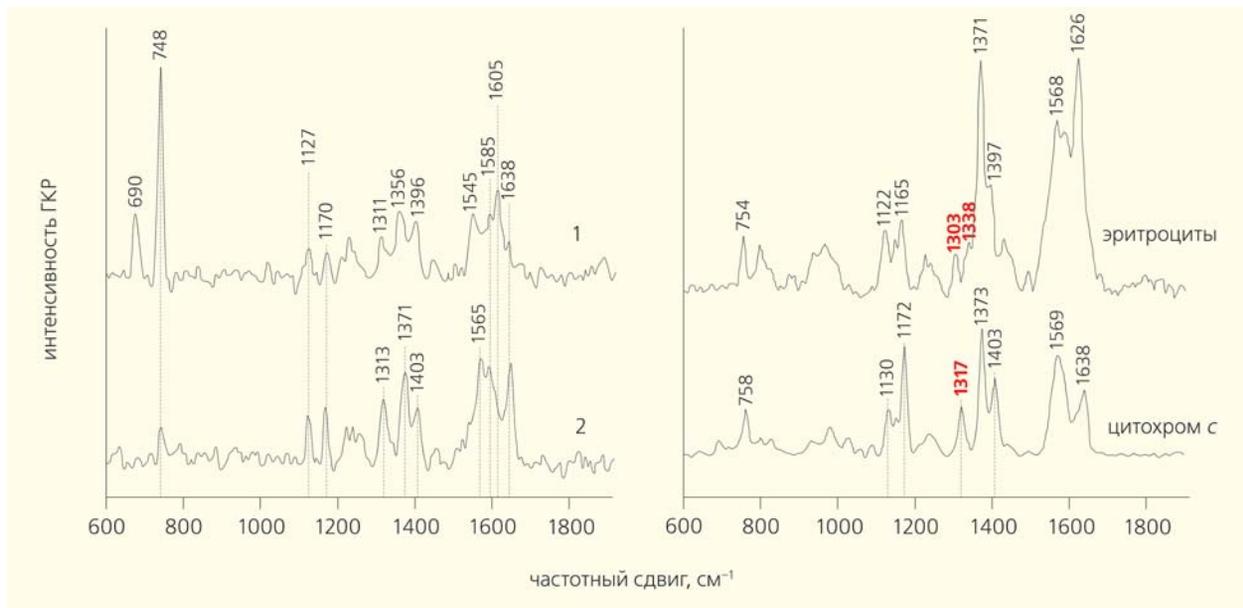


Рис.8. Спектры SERS интактных митохондрий (слева), помещенных на серебряную наноструктурированную поверхность [4]: 1 — спектр искусственно восстановленных цитохромов митохондрий; 2 — спектр активно функционирующих интактных митохондрий. Для сравнения справа приведен спектр SERS эритроцитов, который соответствует спектру гема типа *b*, и спектр окисленного изолированного цитохрома *c*. Красным цветом отмечены пики, по которым можно четко отличить спектр гемов *b* и *c*.

от которых можно было зарегистрировать сигнал SERS. Если использовать те же наночастицы серебра, просто присоединенные к плоской подложке, то особого усиления не произойдет, что и подтверждалось в эксперименте (рис. 7).

И действительно, полученный спектр SERS митохондрий соответствовал спектрам цитохрома *c*. При использовании зеленого лазера в качестве возбуждающего света можно регистрировать сигнал только от цитохромов *b* и *c*, но не от цитохрома *a*, что облегчает задачу расшифровки спектров. Несмотря на схожесть структуры цитохромов типа *b* и *c*, они имеют ключевые пики на спектре, благодаря которым их нельзя перепутать (рис. 8). Таким образом, используемые наноструктуры давали усиление на расстоянии, достаточном, чтобы зарегистрировать спектры от цитохрома *c*, но недостаточно большом, чтобы увидеть пики цитохромов *b*. А это как раз то, что нужно! Благодаря методу SERS теперь можно исследовать селективно редокс-состояние и конформацию именно цитохрома *c* в живых функционирующих митохондриях.

Как и ожидалось, спектры SERS цитохрома *c* митохондрий оказались очень чувствительны к изменению его окислительно-восстановительного состояния. Для этого было исследовано два воздействия: внесение переносчика протонов (протонофора) FCCP и ингибитора АТФ-синтазы олигомицина. FCCP встраивается во внутреннюю мембрану митохондрий и начинает переносить протоны из межмембранного пространства в матрикс, минуя протонные каналы АТФ-синтазы.

В результате этого исчезает электрохимический потенциал и прекращается синтез АТФ. Это явление называют разобщением дыхания и фосфорилирования. В итоге количество АТФ снижается, а АДФ увеличивается [23]. В таком случае возрастает количество поглощенного кислорода и скорость окисления субстратов, а следовательно, и количество окисленных молекул цитохрома *c*, что очень хорошо видно на спектрах SERS. И наоборот, добавление ингибитора синтеза АТФ — олигомицина, который приводит к увеличению электрохимического градиента на фоне снижения скорости дыхания, увеличивает количество восстановленных молекул цитохрома *c*, что также выражено на спектрах SERS митохондрий. Таким образом, спектры SERS митохондрий, являясь спектрами исключительно цитохрома *c*, оказались чувствительны к изменениям его конформации и редокс-состояния в процессе работы митохондрий.

* * *

Спектроскопия гигантского комбинационного рассеяния позволяет многократно усилить сигнал КР от молекул вблизи наночастиц металла. Однако для проведения успешных экспериментов необходимо учитывать свойства как биологического объекта, так и наноструктур. По словам одного из главных авторов проекта Н.А.Браже, ключевым моментом нашего достижения стал междисциплинарный подход к работе, в которую были вовлечены биологи, химики и физики. Результатом такого подхода стало создание уникальной методики селективного определения редокс-состояния

и конформации цитохрома *c* в живых функционирующих митохондриях, помещенных на специальную наноструктурированную поверхность. Разработанная методика поможет восполнить пробелы в наших знаниях о свойствах и поведе-

нии переносчиков электрона в митохондриях. Она также может быть использована для разработки диагностических тестов для раннего выявления патологий митохондрий, чем и планируется заниматься в ближайшее время. ■

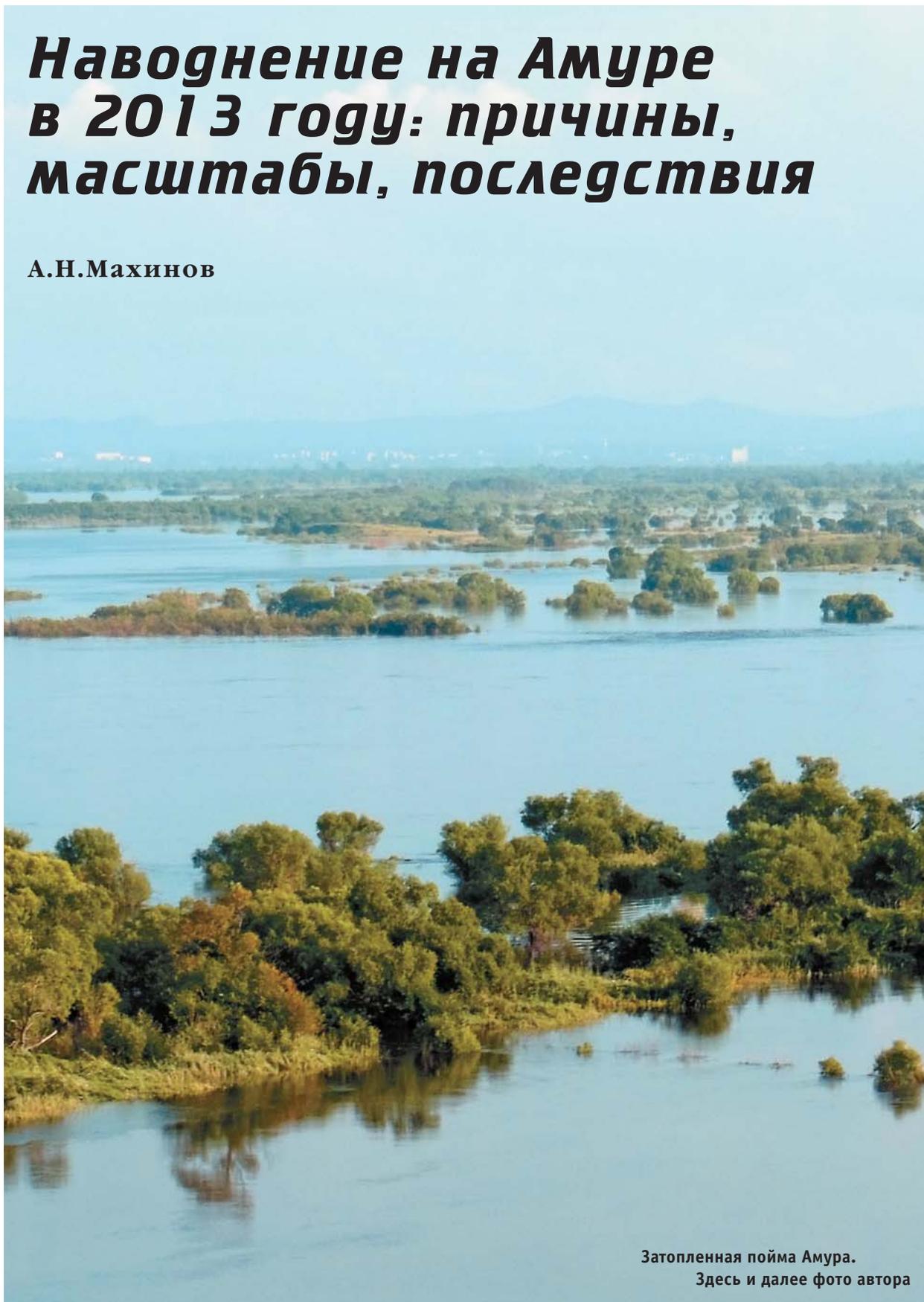
Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект 14-13-00871) и Российского фонда фундаментальных исследований (проект 14-04-31883_mol_a).

Литература

1. Nelson D.L., Cox M.M. Lehninger Principles of Biochemistry. 5th ed. N.Y., 2008.
2. Vafai S.B., Mootha V.K. Mitochondrial disorders as windows into an ancient organelle // Nature. 2012. V.491. P.374–383. Doi:10.1038/nature11707.
3. Moore L., Gust D., Moore T.A. Bio-inspired constructs for sustainable energy production and use // L'Actualité Chim. 2007. №308–309. P.50–56.
4. Brazhe N.A., Evlyukhin A.B., Goodilin E.A. et al. Probing cytochrome *c* in living mitochondria with surface-enhanced Raman spectroscopy // Sci. Rep. 2015. V.5. Article number 13793. Doi:10.1038/srep13793.
5. Battistuzzi G., Borsari M., Cowan J.A., Ranieri A., Sola M. Control of cytochrome *c* redox potential : axial ligation and protein environment effects // J. Am. Chem. Soc. 2002. V.124. P.5315–5324. Doi:10.1021/ja017479v.
6. Dolla A., Blanchard L., Guerlesquin F., Bruschi M. The protein moiety modulates the redox potential in cytochromes *c* // Biochimie. 1994. V.76. P.471–479. Doi:10.1016/0300-9084(94)90171-6.
7. Solmaz S.R.N., Hunte C. Structure of complex III with bound cytochrome *c* in reduced state and definition of a minimal core interface for electron transfer // J. Biol. Chem. 2008. V.283. P.17542–17549. Doi:10.1074/jbc.M710126200.
8. Ma J.G., Zhang J., Franco R. et al. The structural origin of nonplanar heme distortions in tetraheme ferricytochromes *c*3 // Biochemistry. 1998. V.37. P.12431–12442. Doi:10.1021/bi981189i.
9. Brown G.C., Borutaite V. Regulation of apoptosis by the redox state of cytochrome *c* // Biochim. Biophys. Acta. 2008. V.1777. P.877–881. Doi:10.1016/j.bbabi.2008.03.024.
10. Chess D.J., Billings E., Covian R. et al. Optical spectroscopy in turbid media using an integrating sphere: mitochondrial chromophore analysis during metabolic transitions // Anal. Biochem. 2013. V.439. P.161–172. Doi:10.1016/j.ab.2013.04.017.
11. Starkov A., Fiskum G. Regulation of brain mitochondrial H₂O₂ production by membrane potential and NAD(P)H redox state // J. Neurochem. 2003. V.86. P.1101–1107. Doi:10.1046/j.1471-4159.2003.01908.x.
12. Горелик В. Комбинационное рассеяние света // Соросовский образовательный журнал. 1997. V.6. P.91–96.
13. Semenova A.A., Goodilin E.A., Brazhe N.A. et al. Planar SERS nanostructures with stochastic silver ring morphology for biosensor chips // J. Mater. Chem. 2012. V.22. P. 24530–24544. Doi:10.1039/C2JM34686A.
14. Brazhe N.A., Treiman M., Brazhe A.R. et al. Mapping of redox state of mitochondrial cytochromes in live cardiomyocytes using Raman microspectroscopy // PLoS One. 2012. V.7. e41990. Doi:10.1371/journal.pone.0041990.
15. Brazhe N.A., Treiman M., Faricelli B. et al. In situ Raman study of redox state changes of mitochondrial cytochromes in a perfused rat heart // PLoS One. 2013. V.8. e70488. Doi:10.1371/journal.pone.0070488.
16. Kakita M., Kaliaperumal V., Hamaguchi H. Resonance Raman quantification of the redox state of cytochromes *b* and *c* *in-vivo* and *in-vitro* // J. Biophotonics. 2012. V.5. P.20–24. Doi:10.1002/jbio.201100087.
17. Hu S., Morris I.K., Singh J.P. et al. Complete assignment of cytochrome *c* resonance Raman spectra via enzymic reconstitution with isotopically labeled hemes // J. Am. Chem. Soc. 1993. V.115. P.12446–12458. Doi:10.1021/ja00079a028.
18. Delfino I., Bizzarri A.R., Cannistraro S. Single-molecule detection of yeast cytochrome *c* by Surface-Enhanced Raman Spectroscopy // Biophys. Chem. 2005. V.113. P.41–51. Doi:10.1016/j.bpc.2004.07.006.
19. Karatae O.F., Sezgin E., Aydin O. et al. Interaction of gold nanoparticles with mitochondria // Colloids Surf. B. Biointerfaces. 2009. V.71. P.315–318. Doi:10.1016/j.colsurfb.2009.02.020.
20. Vitol E.A., Orynbayeva Z., Bouchard M.J. et al. In situ intracellular spectroscopy with surface enhanced Raman spectroscopy (SERS)-enabled nanopipettes ACS // Nano. 2009. V.3. P.3529–3536. Doi:10.1021/nn9010768.
28. Kneipp J., Kneipp H., Wittig B. et al. Novel optical nanosensors for probing and imaging live cells // Nanomedicine. 2010. V.6. P.214–226. Doi:10.1016/j.nano.2009.07.009.
21. Moskovits M. Surface roughness and the enhanced intensity of Raman scattering by molecules adsorbed on metals // J. Chem. Phys. 1978. V.69. P.4159–4161. Doi:10.1063/1.437095.
23. Северин Е.С. Биохимия. М., 2003.

Наводнение на Амуре в 2013 году: причины, масштабы, последствия

А.Н.Махинов



Затопленная пойма Амура.
Здесь и далее фото автора

В ряду стихийных природных бедствий одно из первых мест по повторяемости, площади распространения и материальному ущербу занимают наводнения. За последнее столетие их число возросло почти на всех континентах и особенно в Евразии. Наводнения становятся постоянной угрозой для населения и экономики многих стран. Ни сегодня, ни в ближайшем будущем предотвратить такие бедствия невозможно. Человечество может лишь попытаться немного обезопасить себя, регулируя сток рек плотинами, защищаясь от воды вдольбереговыми дамбами, а также увеличивая высоту территории на локальных участках путем насыпки грунта.

Одно из крупнейших в XXI в. наводнений произошло в бассейне р.Амур летом и осенью 2013 г. [1]. В нижнем и частично среднем течении реки уровень воды намного превысил катастрофические отметки. За весь, почти 120-летний, период наблюдений такой грандиозный разлив случился в этой части Амура впервые. Ширина водного потока, затопившего не только пойму, но и прилегающие к ней пониженные участки равнин, достигла 50 км.

Водный режим Амура и его притоков

Наводнения на дальневосточных реках — обычное явление, вызванное проявлением муссонного климата в восточной части Азии [2, 3]. Ежегодно во второй половине лета в Приамурье один за другим приходят мощные циклоны, принося с Тихого океана огромное количество осадков, выпадающих в виде интенсивных ливней. А реки, как точно подметил выдающийся российский географ А.И.Воейков, — продукт климата.

Амур, расположенный на востоке Евразийского материка, по гидрологическому режиму и условиям формирования паводков очень похож на Хуанхэ и Янцзы. Именно великим китайским рекам, как известно, принадлежит абсолютный рекорд на планете по масштабу разрушительных последствий наводнений. Разливы этих рек принесли немало бедствий населению Китая.

Крупнейшие притоки Амура находятся в его среднем течении, а основная площадь водосбора несколько смещена к востоку, к берегам Японского и Охотского морей. Здесь проходят основные пути влагонасыщенных циклонов, поэтому в питании рек Амурского бассейна так велика роль атмосферных осадков.



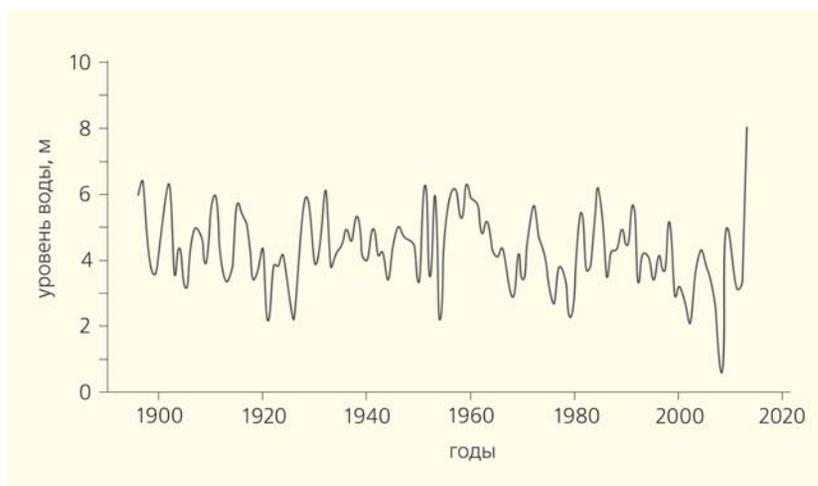
Алексей Николаевич Махинов, доктор географических наук, заместитель директора по научной работе Института водных и экологических проблем Дальневосточного отделения РАН, профессор Тихоокеанского государственного университета. Область научных интересов — экзогенные процессы формирования рельефа, оценка воздействия природных и антропогенных факторов на окружающую среду.

Ключевые слова: Амур, наводнение, эрозионные процессы, аккумуляция.
Key words: Amur, flood, erosion, accumulation.

Обширная площадь и специфическая форма водосбора, наличие крупных притоков и особый режим выпадения осадков (их локальность и большая интенсивность) привели к возникновению нескольких очагов формирования наводнений. Основные из них — бассейны рек верхнего Амура, а также Зеи, Буреи, Сунгари и Уссури. Паводки, сформированные в каждой отдельной области, могут привести к большому наводнению на всем Амуре. Однако значительные подъемы воды на этих реках чаще всего не совпадают по времени. Например, наводнение в нижнем течении Амура летом 1998 г. было вызвано очень большим паводком на р.Сунгари, в то время как на других реках отмечалась пониженная водность. Максимальный уровень воды в районе Хабаровска в этот год составил 524 см. При синхронных паводках в нескольких областях стока наводнение становится более значительным, как это случилось в 1984 г. [4].

По особенностям водного режима реки бассейна Амура относятся к дальневосточному типу. Для него характерны низкая водность в зимний период, небольшие половодья весной и неоднократные резкие подъемы воды во второй половине лета и в начале осени. По сравнению с другими регионами России именно на реках Дальнего Востока эти сезонные колебания водности особенно велики.

Неравномерность стока воды с поверхности суши имеет не только сезонный характер. На многих реках мира было замечено, что особенно крупные наводнения происходят в определенные временные периоды продолжительностью 10–15 лет. Аналогичная закономерность выявлена и для Амура. За все время инструментальных гидрологических наблюдений у г.Хабаровска (с 1896 по 2012 г.) периоды повышенной водности отмечались в следующие годы: 1896–1911 (максимальный уровень 642 см), 1927–1938 (616 см), 1951–1964 (634 см) и 1981–1998 (620 см). За это время уровень воды восемь раз превысил отметку 600 см, причем четырежды — в период с 1951 по 1959 г. Последнее та-



Максимальные уровни воды в Амуре у Хабаровска за 1896—2013 гг.

кое повышение уровня (не считая наводнения 2013 г.) случилось в 1984 г.

Наступивший после длительного маловодья период повышенной водности начался в 2009 г., когда максимальный уровень воды по посту Хабаровска достиг 494 см. В нижнем течении Амура затопило пойму, пострадали низко расположенные здания и сооружения. На многих участках реки были значительно размывы берега. Заметные изменения произошли в русле: появились новые косы, осередки, вдольбереговые отмели, переместились участки наибольших глубин.

Предполагаемая продолжительность наступившего периода повышенной водности составит 10—15 лет. Строго говоря, наводнение на Амуре в 2013 г. не должно было стать неожиданностью. Однако его нельзя было предсказать даже весной, незадолго до начала, поскольку прогноз подобных явлений мог быть только вероятностным.

Причины катастрофического паводка

Наводнение 2013 г. вызвали особенно сильные атмосферные осадки, выпавшие на всей территории бассейна Амура в июле и августе [1, 5]. Несколько циклонов друг за другом задержались здесь, блокированные областью высокого давления на севере и востоке. На значительной площади за 2—3 мес сумма выпавших осадков превысила годовую, а местами и полугодовую норму [6]. Так, за один дождь 22 июля на метеостанции Благовещенска выпало 101.3 мм осадков, а за 8—9 августа на метеостанции Екатеринославки Амурской обл. — 139.8 мм. Аналогичные ливни отмечались в бассейнах больших притоков Амура — Буреи, Уссури, Сунгари. Грунты были переувлажнены, поэтому после каждого дождя почти вся вода быстро сбрасывалась в многочисленные реки, питающие Амур.

Экстремальному паводку способствовали и уже имеющиеся большие запасы воды в бассейне реки [7]. Высокая зимняя межень (уровень воды составил минус 12 см по водомерному посту Хабаровска при обычных средних значениях минус 130—170 см), а также очень дружная весна, совпавшая с выпадением атмосферных осадков на территории почти всего бассейна, привели к высоким уровням весеннего половодья и летней межени (437 и 245 см по Хабаровску соответственно).

Большое значение для формирования столь грандиозного наводнения имели уникальные совпавшие последовательные

паводки на Амуре и всех основных притоках. При движении волны паводка по Амуре ее пики почти день в день совпадали с максимумами паводков на Зее, Буреи, Сунгари и Уссури в их устьевых частях [8]. При этом на всех больших притоках Амура паводок был не самым значительным за историю наблюдений.

На подъем воды оказали влияние и геоморфологические особенности долины [9]. Амур относится к рекам, которые в своем эволюционном развитии не углубляются в толщу отложений. Напротив, поверхность днищ их долин постоянно повышается. В нижнем течении Амура этот процесс идет со скоростью около 1.5 мм/год. За 116 лет (со времени последнего крупного наводнения 1897 г.) характерные уровни воды при одном и том же расходе стали выше почти на 20 см.

На подъем воды оказала влияние и хозяйственная деятельность. На некоторых участках берега, особенно вблизи населенных пунктов, построено множество берегозащитных дамб, насыпей, полей, мостов. Так, в районе Хабаровска пойму Амура пересекает железнодорожная насыпь Транссибирской магистрали, не имеющая пропуска для стока воды. Насыпь создала подпор, который привел к дополнительному подъему воды в районе города. Непосредственно в черте Хабаровска один только этот фактор обеспечил повышение уровня на 70—80 см.

Очевидно, что особую, но пока трудно оцениваемую роль в формировании большого наводнения сыграло обезлесивание территории, интенсивно происходящее в последние десятилетия в результате масштабных лесоразработок и пожаров в бассейнах рек, питающих Амур. Изменению условий стока, вероятно, способствовали распашка земель и осушение болот преимущественно в китайской части бассейна.

Многие жители Приамурья считают, что причиной невиданного наводнения на Амуре стали

водохранилища крупных ГЭС. Однако это не так. Все имеющиеся данные, наоборот, свидетельствуют о регулирующей роли водохранилищ. Они неоднократно спасали население от возможных наводнений в 1980-х годах и сыграли положительную роль в усмирении наводнения 2013 г.

На крупных притоках Амура построено четыре больших водохранилища. Два из них в России (Зейское и Бурейское) и два в Китае (Сунхуаху и Ниэрцзи). Они строились с двойной целью. Первая и главная — получение дешевой электроэнергии для развития регионов обеих стран. Вторым назначением водохранилищ стала защита территорий от наводнений. Долины Зеи и Буреи всегда страдали от высоких летних паводков, и поэтому необходимо было устранить опасность затоплений наиболее ценных земель. Водоохранилища с этим успешно справляются. Но нельзя ожидать, что они смогут значительно ослабить наводнение на всем Амуре. Водоохранилища Зейской и Бурейской ГЭС регулируют сток воды менее чем на 10% площади бассейна Амура.

Тем не менее водохранилища оказывают существенное влияние на водный режим рек. Летом здесь набирается вода, а зимой она сбрасывается через турбины для выработки электричества. К концу лета важно заполнить максимально возможный объем водохранилища для получения достаточного количества электроэнергии зимой. В августе 2013 г. в водохранилищах Зеи и Буреи накопилось слишком много воды. Ее пришлось частично сбрасывать, чтобы избежать угрозы разрушения плотин — страшного бедствия, допустить которое нельзя. Вода сбрасывалась понемногу под жестким контролем специалистов.

Если бы не плотины ГЭС, наводнение на нижнем Амуре стало бы еще более грандиозным. Максимальный приток воды в Зейское водохранилище составил около 12 тыс. м³/с, а сбрасывалось из него всего 5 тыс. м³/с. Нетрудно представить, что было бы, попади эти дополнительные 7 тыс. м³/с в Амур к тому объему воды, который там уже находился! Такая же ситуация имела место и на Бурейской ГЭС.

Таким образом, причина наводнения — сочетание целого комплекса природных и антропогенных факторов, одновременно проявившихся в бассейне Амура в этот год. Поэтому предсказать масштабы катастрофы было невозможно не только в мае и июне, но даже в конце июля, за месяц до пика наводнения.

Распространение и масштабы паводка

В середине июля на верхнем Амуре в районе с. Джалинда сформировался небольшой паводок. Он начал распространяться вниз по течению, постепенно увеличиваясь в размерах. Его питали непрекращающиеся дожди, он становился все более выраженным, и наконец 16 августа паводочная волна достигла Благовещенска. Уровень воды поднялся на 6.5 м по сравнению с летней меженью. Одновременно к городу подошел высокий паводок по Зее, образовавшийся несколько раньше на ее притоках — реках Уркан, Деп и Селемджа, бассейны которых находятся ниже зарегулированного Зейской ГЭС части водосбора. Два паводка слились в один, и он стремительно, со скоростью более 50 км/сут, двинулся вниз по течению. Вода заполнила пойму и местами вышла за ее пределы. Оказались затопленными населенные пункты, поля и дороги.

На участке, где у Амура нет крупных притоков, паводок оставался высоким, но более не увеличивался. Когда же он достиг устья Буреи, оттуда подошла еще одна, относительно небольшая паводочная волна, добавившая свою долю в общий сток Амура. Плотина на Бурее задержала лишь часть воды, собираемой этой бурной и непредсказуемой рекой, которую первые русские землепроходцы называли Быстрой.

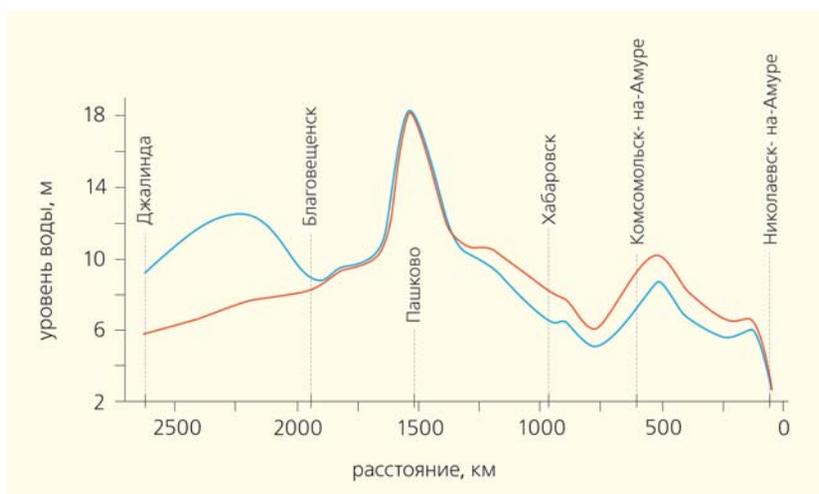
В Хинганском ущелье, где Амур течет одним руслом в узкой долине с высокими крутыми склонами, уровень воды поднялся более чем на 10 м над летним (достаточно высоким) меженным показателем. Поток вышел из берегов, затопив подножья крутых склонов. На довольно большом отрезке его пути вода не только уничтожила растительность на затопленных участках, но и полностью смыла поч-



Граница затопления.



Берега, подверженные интенсивной боковой эрозии в паводок.



Максимальная высота паводка относительно условных (нулевых) уровней воды на гидрологических постах р.Амур во время наводнения 2013 г. (красная линия) и за весь период наблюдений (синяя линия).

венный покров, обнажив скальные породы. Многочисленные оползни и оплывины оголили склоны намного выше уровня, до которого поднималась вода.

Миновав Хинганские горы, водный поток распластался по широкой пойме, занимающей центральную часть Среднеамурской низменности. Здесь высота паводочной волны существенно снизилась, но площадь затопления резко возросла. Пойма быстро заполнилась водой, глубина которой составила 2—3 м. На китайском берегу прорвало дамбы, защищавшие обширные поля равнины Саньцзян. Это уменьшило скорость подъема уровня воды в Амуре, но незначительно и на очень короткое время.

Затем поток, приняв высокий (но далеко не максимально возможный) паводок р.Сунгари, достиг нижнего течения Амура. Здесь наводнение стало самым крупным за весь период наблюдений. Пойма была затоплена полностью. В 270 км ниже по течению на пик амурского паводка наложилась волна из Усури, которая переполнила емкость поймы.

Основные гидрологические параметры паводка и скорости его движения в нижнем течении Амура во многом зависели от особенностей строения поймы и прилегающей к ней территории. Морфологические характеристики долины определяются геолого-геоморфологическим строением Амурского бассейна. Река пересекает горные участки и равнины, поэтому ее долина представляет собой чередующиеся сужения и пойменно-равнинные расширения. Самую ши-

Таблица 1

Продолжительность и высота паводка в некоторых пунктах в долине Амура

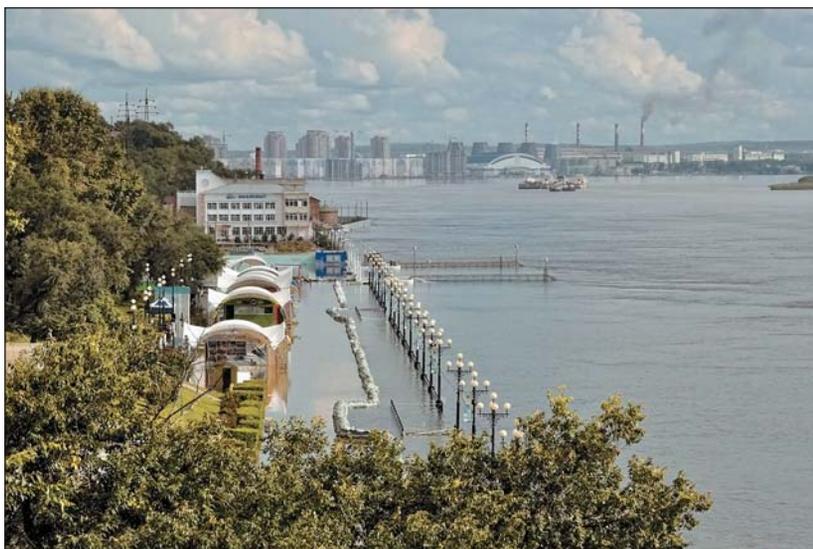
Пункт	Продолжительность подъема воды, сут	Продолжительность паводка, сут	Максимальная высота паводка над уровнем летней межени, м
г.Благовещенск	27	58	5.48
с.Пашково	31	58	9.39
г.Хабаровск	38	76	5.63
г.Комсомольск-на-Амуре	32	74	6.69
г.Николаевск-на-Амуре	36	72	1.37

рокую пойму (до 30 км) Амур имеет в пределах крупных низменностей — Среднеамурской, Удиль-Кизинской и Нижнеамурской. Паводочные волны, проходя через эти участки, обычно существенно трансформируются. Во время паводка равнины превращаются в обширные водные акватории, похожие на озера. В них накапливается большой объем воды и замедляется течение. В горной части, напротив, долина Амура узкая и скорость потока в ней возрастает. Такое чередование определяет сложную картину движения паводочной волны.

Между Малым Хинганом и устьем реки высота паводка отличалась в разных точках в несколько раз (табл.1). В пределах расширений долины уровень воды понижался, в сужениях — возрастал. На нижнем Амуре он на 1.5–2.0 м превысил исторические максимумы. Особенно высоко поднималась вода у Хабаровска и Комсомольска-на-Амуре.

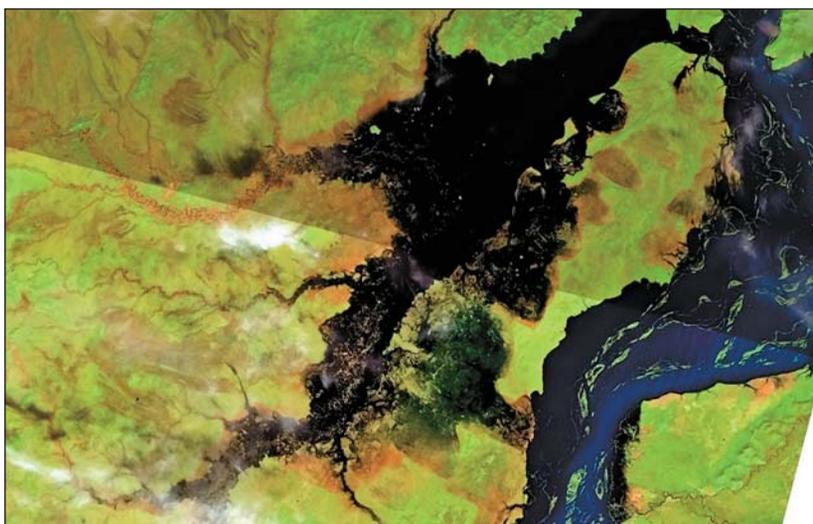
Повторяемость расхода воды в пик паводка оценена в 200–250 лет. Вода не только затопила пойму на глубину до 3–4 м, но местами вышла за ее пределы, разлившись на обширных понижениях Среднеамурской низменности. Широким водным потоком Амур устремился по низменным участкам к оз.Болонь, образовав гигантский остров между озером и рекой.

Скорость прохождения паводка также существенно изменялась на разных участках реки (табл.2). На равнине перед Малым Хинганом она составляла 40–50 км/сут, а в Хинганском ущелье возросла до 140–150 км/сут. Аналогичная картина наблюдалась и на нижнем Амуре в районе Комсомольско-Киселевского сужения, где поток проходил только по руслу с высоким уклоном поверхности. В расширениях же вода распределялась на пойме с неровной поверхностью и густой растительностью, что существенно снижало скорость движения паводочной волны.



Набережная Хабаровска. 1 сентября 2013 г.

Фото А.Б.Степанова

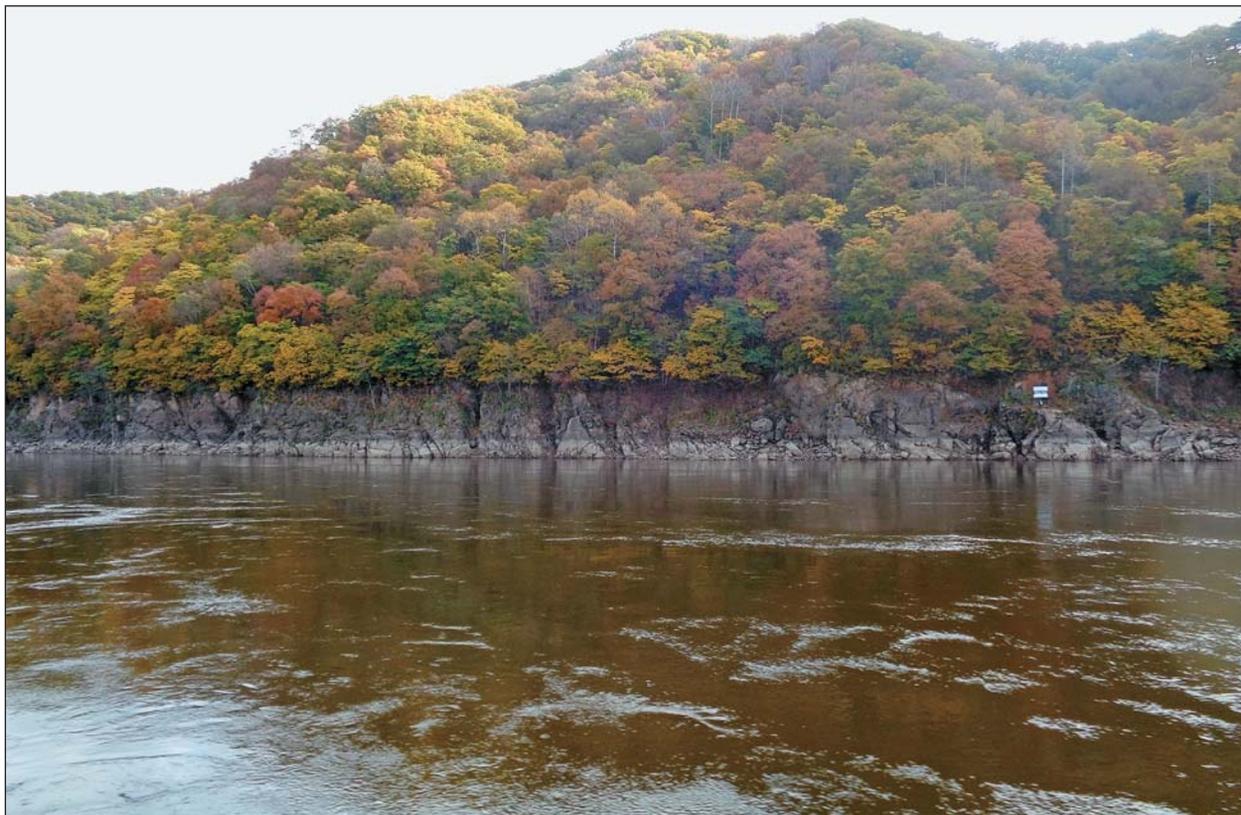


Перелив воды из Амура в оз.Болонь по понижениям Среднеамурской низменности во время паводка 2013 г. Фрагмент космического снимка Landsat-8 от 27 сентября 2013 г.

Таблица 2

Скорость движения паводочной волны на различных участках долины Амура

Участок реки	Протяженность участка, км	Скорость движения паводка, км/сут
Благовещенск—Пашково	408	50
Пашково—Екатерино-Никольское	167	140
Екатерино-Никольское—Хабаровск	404	55
Хабаровск—Троицкое	192	40
Троицкое—Комсомольск-на-Амуре	156	50
Комсомольск-на-Амуре—Циммермановка	207	100
Циммермановка—Богородское	169	35
Богородское—Николаевск-на-Амуре	190	30



След от максимального уровня воды в Хинганском ущелье.

Здесь и далее фото автора

Последствия наводнения

Катастрофический паводок 2013 г. нанес огромный ущерб населению и экономике Дальнего Востока. Были частично затоплены крупные города — Благовещенск, Хабаровск, Комсомольск-на-Амуре, а также многие другие населенные пункты. Несколько тысяч домов не подлежат восстановлению. Десятки тысяч людей были эвакуированы. Пострадали дороги, поля, сенокосы и пастбища. На много недель прервалось автомобильное сообщение между Хабаровском и Комсомольском-на-Амуре. Прямой экономический ущерб оценивается в 12 млрд руб., а общие потери от паводка составили не менее 30 млрд руб.

Произошли значительные изменения и в ландшафтах долины Амура. Последствия наводнения для природы региона изучались летом и осенью 2014 г. сотрудниками Института водных и экологических проблем ДВО РАН и Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Экспедиция была организована за счет средств гранта Русского географического общества. Исследовались многочисленные следы паводка, оставшиеся после наводнения на берегах и в русле Амура. Они очень разнообразны и хорошо выражены, особенно на пойменных островах. Самые заметные из них — погибшие деревья, долгое вре-

мя простоявшие в воде. Колоссальным преобразованиям подвергся и скрытый от глаз человека рельеф речного дна.

Для нижнего Амура характерно разветвленное русло, в котором водный поток разбивается на многочисленные рукава разных размеров, называемые протоками. Русло на таких участках неустойчиво, вода постоянно перераспределяется из одного рукава в другой. В результате одни протоки мелеют, а другие становятся глубокими и широкими. Особенно интенсивно такие процессы происходят в паводки.

Исследования показали, что во время наводнения 2013 г. в русле Амура особенно активно шли эрозионно-аккумулятивные процессы, вызванные экстремально высоким стоком воды по рукавам. Мощный поток существенно преобразовал русло реки на всем его протяжении. Анализ космических материалов и данные непосредственных измерений свидетельствуют об изменении морфологических характеристик русел многих основных и второстепенных рукавов Амура. Местами было значительно размыто дно, увеличились глубины. В других случаях, наоборот, в русле накопилось много песка, появились огромные подводные отмели, косы и осередки.

Во время наводнения интенсивно проявилась боковая эрозия. Протяженность берегов с отвес-



Русло Амура вблизи Хабаровска на космических снимках Landsat-8 от 6 мая 2013 г. (слева) и 9 мая 2014 г.

ными эрозионными уступами высотой 3–5 м теперь местами достигает нескольких километров. Береговая линия в вершинах некоторых излучин отступила на 10–20 м. Разрушение берегов не только повлекло за собой уничтожение ценных пойменных лугов и высоких рёлок с великолепными ленточными лесами, но также повлияло на условия движения водного потока, существенно изменив форму русла. Большая крутизна излучин, по-видимому, приведет к образованию новых спрямляющих проток. В результате изменятся размеры речных рукавов и направленность их развития.

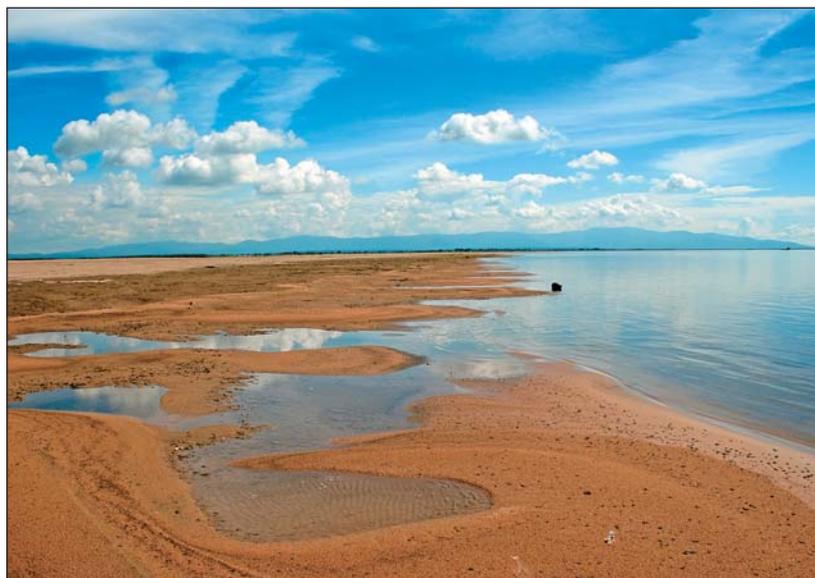
Рельеф речного дна значительно преобразился на участках вблизи истоков и устьев второстепенных рукавов. Здесь активизировались аккумулятивные процессы, вызывающие увеличение размеров и быстрое смещение существовавших ранее песчаных кос, осередков, подводных гряд и образование новых русловых форм рельефа. В некоторых частях русла, особенно в среднем течении, накопились огромные массы песка в виде широких и высоких кос. Местами они перегораживают русло почти на три четверти его ширины. Один из таких участков находится несколькими десятками километров выше по течению от Хабаровска. Последующие небольшие паводки, даже такие, какой случился летом 2014 г., будут не в состоянии размыть песчаную косу и увеличить глубины. Наоборот, на отмели станут откладываться наносы, увеличивая препятствие водному стоку, который в конечном итоге найдет выход во второстепенные протоки.

Особенно мощные скопления песка сформировались перед впадением в Амур одного из

крупнейших притоков — р.Сунгари. В паводок она обычно подпирает водный поток Амура, приводя к замедлению его течения. В результате взвешенные и влекомые по дну наносы оседают непосредственно в русле почти по всей его ширине. Поэтому для обеспечения безопасного судоходства здесь необходимо проводить большие объемы дноуглубительных работ.

Надо сказать, что не везде в русле небывалый паводок произвел такие большие изменения. Наши исследования в Хинганском ущелье показали, что река, стесненная каменными склонами, даже при подъеме воды более чем на 10 м и значительном увеличении скорости течения все же смирилась перед прочностью пород. Лишь у подножий произошел размыв почв и массовое сползание небольших блоков рыхлых отложений.

Особенно отчетливо следы наводнения проявились в пойме Амура. В ее прирусловой части сформировались широкие песчаные гряды протяжен-



Обширные песчаные косы — зачатки будущих пойменных островов.



Песчаные шлейфы на пойме, протягивающиеся на сотни метров.

ностью до 500 м, направленные чаще всего под углом к берегу. Гряды сложены тонко- и мелкозернистыми слюдистыми песками мощностью до 1.0 м (вблизи берега). При движении вглубь поймы слой песков постепенно уменьшается и выклинивается, уступая место суглинистым отложениям. Песчаные гряды хорошо видны на космических снимках в виде широких светлых полос на темном фоне старой заросшей поверхности поймы.

Аккумуляция наносов интенсивно происходила на прирусловых валах, протягивающихся вдоль

берегов реки. Из-за выхода воды на пойму и резкого замедления течения на поверхность валов оседал песок, в результате их высота местами увеличилась на 0.5—0.8 м. Этот песок по составу более мелкий, чем в русле, и легко переносится ветром. Поэтому во время весенних и осенних ветров здесь возможны песчаные бури. От них долину Амура может спасти только появление растительности на прирусловых валах.

В горной части долины в нижнем течении Амура длительное стояние высокой воды повлияло на

устойчивость крутых склонов. Вдоль их подножий выше уровня паводка активизировались оползни и оплывины, а на отвесных скалах участились обвалы и осыпи. И хотя размеры оползневых тел небольшие, они широко распространены вдоль правого берега Амура у г. Комсомольска-на-Амуре, а также ниже по течению в районе сел Нижнетамбовское и Жеребцово, оз. Хаванда и в некоторых других местах.

Одна из интересных особенностей паводка заключалась в слабом эрозионном воздействии потока на поверхность поймы. На ней отсутствуют глубокие рытвины, промоины, новые протоки. Вероятно, главной причиной сохранения поймы от раз-



Оползни на склонах, появившиеся после прохождения паводковой волны.



Погибшие прибрежные ивы под слоем накопившегося песка.

мыва стала значительная плотность верхнего слоя грунта, закрепленного мощной корневой системой высоких трав.

Высокий уровень воды, державшийся продолжительное время, негативно отразился на состоянии древесной растительности. Вдоль подножий коренных склонов, в устьевых частях долин притоков и на низких рёлках погибло много деревьев. Особенно пострадали даже при непродолжительном затоплении такие виды, как лиственница, бархат амурский и наиболее распространенная в пойме Амура береза. На склонах рёлок в пойме теперь протягиваются полосы погибших деревьев — осин, маакий, яблонь, черемух. Лишь местами на чуть более высоких участках эти растения, несмотря на угнетенность, продолжают бороться за жизнь. Более устойчивыми к затоплению оказались ива, дуб и тополь. Остальные виды древесных и кустарничковых пород, характерных для поймы Амура, пострадали лишь частично на участках с очень большой длительностью затопления или в результате засыпания толстым слоем принесенного паводком песка.

Уровень воды в Амуре после наводнения (осенью и в начале зимы 2013 г.) оставался ано-

мально высоким и снижался медленно, что привело к позднему ледоставу. Из-за сильной торосистости ледового покрова реки осенний ледоход на Амуре был исключительно мощным. Вдоль стержня потока сформировались гряды высоких торосов, протягивающиеся на сотни метров. Высота таких гряд, состоящих из хаотических нагромождений обломков льдин разного размера, местами превышала 2.5 м. Толщина льда на торосистых участках достигала 2.2 м, в то время как обычно она составляет 1.0—1.2 м. Ледостав при относи-



Гряды исключительно высоких торосов — последствия паводка 2013 г.

тельно высоких уровнях воды способствовал формированию большей, чем обычно, площади льда на реке. И лишь теплая весна 2014 г. не дала образоваться мощным заторам в нижнем течении Амура во время весеннего ледохода. Еще меньшее влияние оказало наводнение 2013 г. на водный режим весны следующего года.

Анализ наивысших уровней воды в весенний период за все годы наблюдений показывает, что превышение отметки 500 см по Хабаровску в апреле—мае отмечалось всего четыре раза. Так, максимальным стал уровень 1902 г. — 625 см, и это не было связано с высокой водностью предшествующего года. Повышение летнего уровня в 1920-х годах не повлекло за собой высоких весенних половодий в последующие годы. Вместе с тем уровень воды начала 1960 г., составивший 533 см, отмечался после значительного наводнения летом 1959 г., когда вода поднималась до 634 см. В целом, анализ не выявил однозначной связи между летними паводками и последующим высоким уровнем воды весной.

* * *

Таким образом, причина катастрофического, крупнейшего за всю историю наводнения на Амуре — уникальное непредсказуемое сочетание комплекса природных факторов, одновременно проявившихся в бассейне реки летом 2013 г. Основными из них можно считать высокую зимнюю межень (на 1.5 м выше средних значений), интенсивное выпадение осадков в июле и августе и по-

следовательное, синхронное с пиком паводка на Амуре поступление вод из его притоков.

Опасные гидрологические процессы наряду с другими природными угрозами (землетрясениями, извержениями вулканов, цунами и т.п.) относятся к числу важнейших стратегических рисков для экономики и населения восточных районов России. Среди таких процессов своими масштабами и последствиями особенно выделяются дождевые паводки на реках. Они в течение короткого времени приводят к затоплению обширных территорий, перераспределению стока воды между рукавами, быстрому переформированию русел, аккумуляции наносов и размыву берегов. Эти процессы в последние десятилетия усиливаются, обостряя проблемы безопасного хозяйственного освоения территорий, устойчивости гидротехнических сооружений и других объектов, расположенных на берегах и в руслах рек.

С крупными наводнениями жителям Дальнего Востока придется сталкиваться и в будущем. Исходя из природных закономерностей гидрологического режима Амура, вступившего в период высокой водности, в ближайшие 8—10 лет следует ожидать новых паводков. Очевидно, что необходимы детальные исследования причин и механизма их формирования в условиях крайне неустойчивого водного режима дальневосточного типа. Для того чтобы иметь возможность жить в безопасности на территории с высоким риском наводнений, людям нужно научиться бороться с ними, предсказывать их и по возможности пытаться предотвратить. ■

Работа выполнена при поддержке Русского географического общества (проект 02/2014-Н2) и Дальневосточного отделения РАН (проект 15-1-6-010 э).

Литература

1. Данилов-Данильян В.И., Гельфан А.Н. Экстраординарное наводнение в бассейне реки Амур // Вестник Российской академии наук. 2014. Т.84. №9. С.817—825.
2. Бойкова К.Г. Наводнения на реках Амурского бассейна // Вопросы географии Дальнего Востока. Вып.5. Хабаровск, 1963. С.192—236.
3. Гарцман Б.И. Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока: методы расчетов, прогнозов, оценок риска. Владивосток, 2008.
4. Ким В.И., Махинов А.Н. Прохождение паводочной волны и водный режим в нижнем течении р.Амур // Материалы научной конференции по проблемам водных ресурсов Дальневосточного экономического района и Забайкалья. СПб., 1991. С.513—519.
5. Данилов-Данильян В.И., Гельфан А.Н., Мотовилов Ю.Г., Калугин А.С. Катастрофическое наводнение 2013 года в бассейне реки Амур: условия формирования, оценка повторяемости, результаты моделирования // Водные ресурсы. 2014. №41(2). С.111—122.
6. Семенов Е.К., Соколихина Н.Н., Татариничев Е.В., Тудрий К.О. Синоптические условия формирования катастрофического наводнения на Амуре в 2013 г. // Метеорология и гидрология. 2014. №8. С.25—34.
7. Дугина И.О., Явкина Е.Н., Агеева С.А. и др. Выдающееся наводнение на р.Амур в 2013 году и его особенности // Труды VII Всероссийского гидрологического съезда (19—21 ноября 2013 г.). СПб., 2013.
8. Махинов А.Н. Основные факторы формирования катастрофических наводнений в бассейне реки Амур в 2013 году // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Вып.6. Владивосток, 2014. С.435—442.
9. Махинов А.Н., Ким В.И., Воронов Б.А. Наводнение в бассейне Амура 2013 года: причины и последствия // Вестник ДВО РАН. 2014. №2. С.5—14.

Следы землетрясений в затерянном городе

А.М.Корженков, А.А.Варданян, Р.Ю.Стаховская

Древний набатейский город Петру европейцы обнаружили в Иордании лишь в XIX в. Однако заложен он был примерно четыре тысячелетия назад, еще в эпоху эдомитов. Тогда в скалах была сооружена небольшая, но хорошо обороняемая крепость. Позже, в 1-м тысячелетии до н.э., эти земли перешли во владение Nabatean Kingdom, как раз в то время переживавшего свой расцвет. Петра, выполнявшая роль столицы царства, постепенно приобрела огромное влияние и небывало широкую известность.

Чтобы попасть в город, необходимо пройти около 3 км по узкой (3–4 м) и глубокой (до 80 м) щели под названием Сик, что означает «шахта». Временные водотоки, наполнявшиеся лишь во время редких дождей, вырезали ущелье в белых песчаниках свиты Дисы. Сам город вырублен древними строителями в розовых кембрийских песчаниках свиты Умм Ишрин [1].

Возникновение города в таком труднодоступном месте стало возможным благодаря умению набатейцев запасать воду. По сути, Петра — не что иное, как искусственный оазис. Здесь весной иногда случались внезапные ливневые дожди, и набатейцы с успехом перенаправляли их, используя дамбы, цистерны и акведуки. Это позволяло древним жителям не только переживать долгие периоды засухи, но



Андрей Михайлович Корженков, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией палеосейсмологии и палеогеодинамики Института физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН. Область научных интересов — археосейсмология, палеосейсмология, структурная геоморфология, оценка сейсмической опасности.



Асмик Ашотовна Варданян, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник той же лаборатории. Специалист в области археосейсмологии, магнетизма горных пород, палеомагнетизма.



Римма Юрьевна Стаховская, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник той же лаборатории. Круг научных интересов охватывает археосейсмологию, гравитационно-механическое и геодинамическое моделирование.

Ключевые слова: Петра, Иордания, древние землетрясения, археосейсмология, макросейсмическое обследование, сейсмогенные нарушения.

Key words: Petra, Jordan, ancient earthquakes, archeoseismology, macroseismic observation, seismogenic destructions.

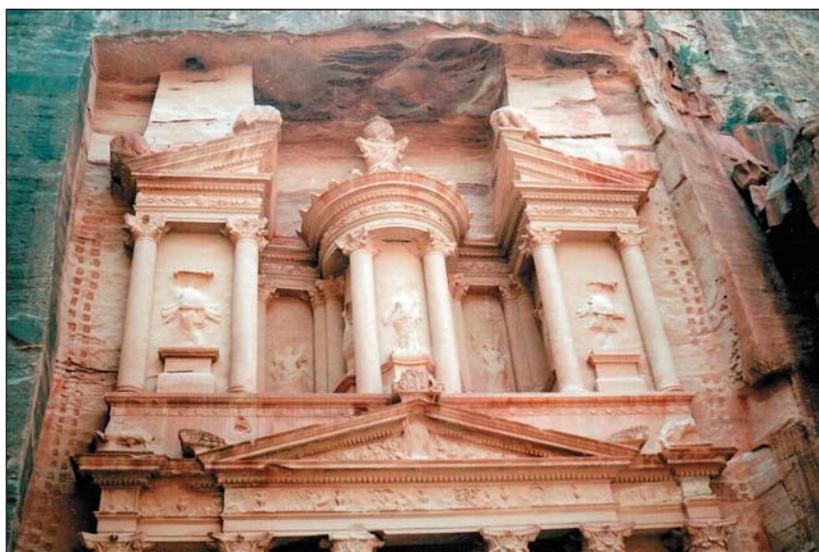


Схематическая карта Петры.

и успешно торговать водой. Кроме мастерского сбора воды набатеяцы еще научились искусно обрабатывать камень. Слово «петра» переводится с семитского языка как «скала». И неудивительно, ведь весь древний город целиком состоит из камня.

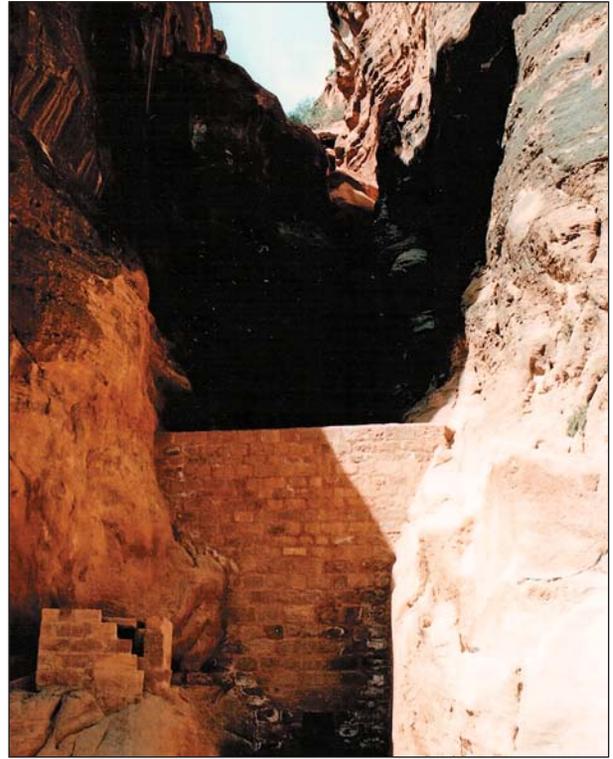
Петра расположена на обоих склонах долины сухой реки — Вади Муса (Моисея). В ее бассейне находится более 800 археологических памятников. Наиболее известные из них: Эль-Хазне (Сокровищница Фараона), Каср аль-Бинт (отдельно стоящее двухэтажное сооружение), римский амфитеатр, Великий храм, храм Крылатых Львов, церковь Петры и др.

Все здания древнего города сооружены в основном в четыре периода: при идумеях (XVIII—II вв. до н.э.), набатеях (II в. до н.э. — 106 г. н.э.), римлянах (106—395 гг. н.э.) и византийцах (395—632 гг.). Затем Петра перешла под контроль арабов. В XII в. ею владели рыцари-крестоносцы Тевтонского ордена. Позднее арабы вернули контроль над территорией, а в конце концов город оказался под властью турок. Памятники, сооруженные здесь после VII в. н.э., практически не сохранились. С XVI в. Петра была заброшена и забыта более чем на два столетия — до того момента, пока в 1812 г. швейцарский путешественник И.Л.Буркхардт не на-



Верхняя часть Эль-Хазне (Сокровищницы Фараона), полностью вырезанная из кембрийских песчаников.

Здесь и далее фото А.М.Корженкова



Узкое и глубокое ущелье Сик, ведущее к Петре (слева). В нижнем правом углу видны остатки искусственного канала, по которому древние жители подавали собранную воду в город. На снимке справа — древняя искусственная дамба на левом (южном) притоке долины сухой реки Сик.

шел в этих землях затерянный город, о котором ходило множество легенд и которого никто из европейцев никогда не видел.

Археосейсмологический метод — ключ к распознаванию землетрясений

Сейсмические повреждения и разрушения — постоянная угроза, которую следует иметь в виду при строительстве и планировании населенных пунктов. Период инструментальных сейсмологических наблюдений составляет немногим более сотни лет. Однако для достоверной оценки сейсмической опасности территории и при строительстве крупных инженерных сооружений (например, атомных электростанций) необходима информация о сильных землетрясениях региона за последние 10 тыс. лет. Для решения такой задачи в 80—90-х годах прошлого века возникло новое научное направление — археосейсмология.

В отдельных случаях очаги сильных землетрясений достигают поверхности, и при этом разрушаются и смещаются строительные конструкции [2—4]. Такие деформации маркируют эпицентральные зоны на поверхности. По величине и направлению смещения строительных элементов (например, городских стен или акведуков) можно определить кинематические характеристики сейсмичес-

кого события и рассчитать их параметры. Время события определяется по возрасту археологических артефактов и по данным определения абсолютного возраста. Таким образом, сравнительно легко находятся ответы на три главных вопроса сейсмологической науки: где, когда и какой силы.

Но подобные случаи выхода сейсмических очагов в пределах древних городов крайне редки. Чаще всего археологи имеют дело с многочисленными деформациями и разрушениями в строительных конструкциях, которые они традиционно приписывают нашествию иноземных армий или добровольному оставлению населенных пунктов местными жителями (например, при изменении местного гидрологического режима). «Обычный» археолог не может отличить деформации и обрушения зданий вследствие военных действий или при статической «мертвой» нагрузке с течением времени и тех, что возникли под воздействием колебаний от сейсмических очагов, расположенных неподалеку.

Имеющиеся инструментальные данные и материалы наших полевых эпицентральных обследований современных землетрясений, которые случились в Киргизии в последние годы, обеспечили базу для идентификации особенностей сейсмических повреждений и выделения типов сейсмогенных повреждений в древних городах Ближнего Востока и Средней Азии, Крыма и Западного Кавказа [3, 5—10].

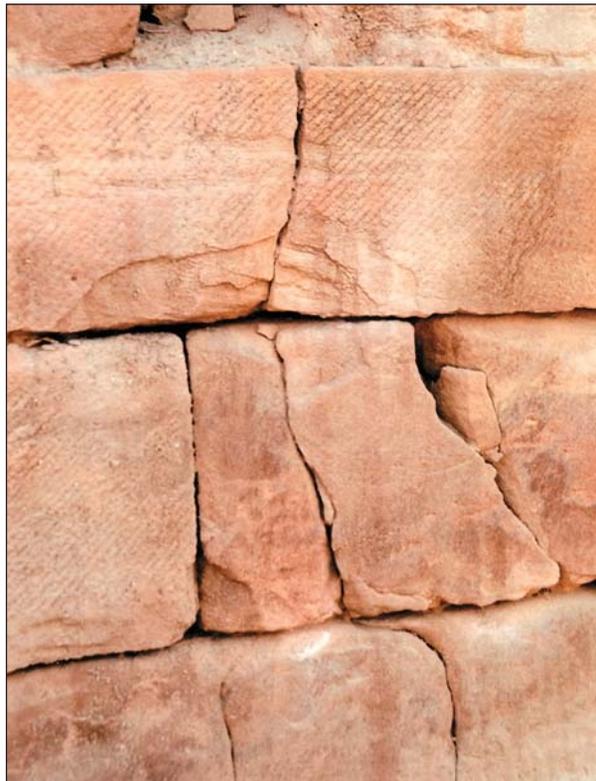
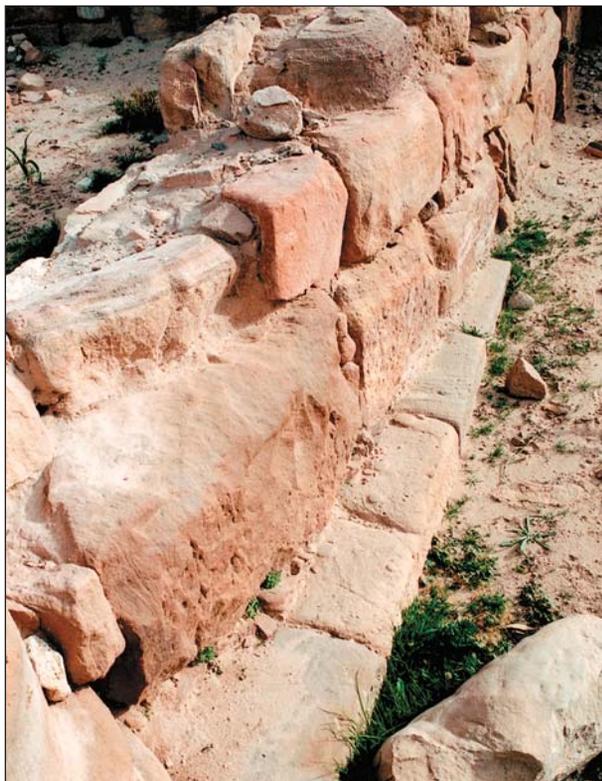
Систематика сейсмогенных повреждений в древних городах

Здания, стены и другие конструкции, построенные из обработанных каменных блоков, образуют сеть геометрических линий, составляющих прямоугольники, и позволяют исследователям идентифицировать тип и величину деформаций с точностью в несколько градусов и сантиметров.

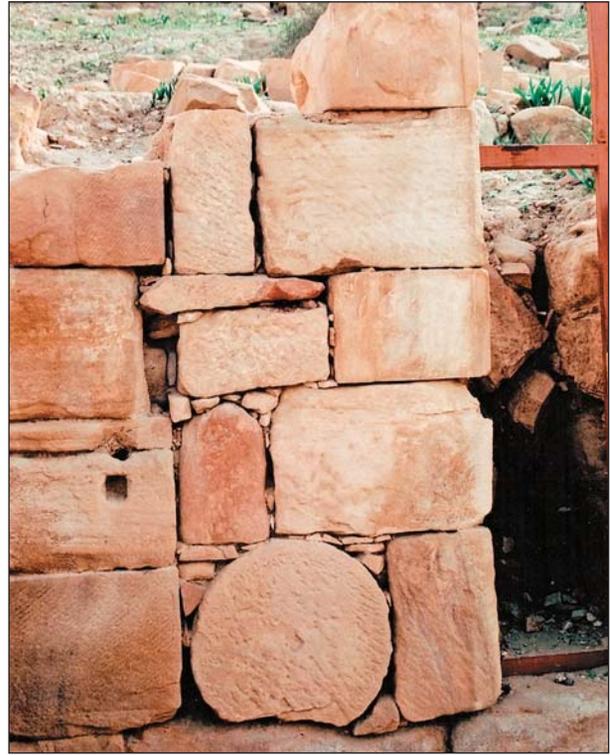
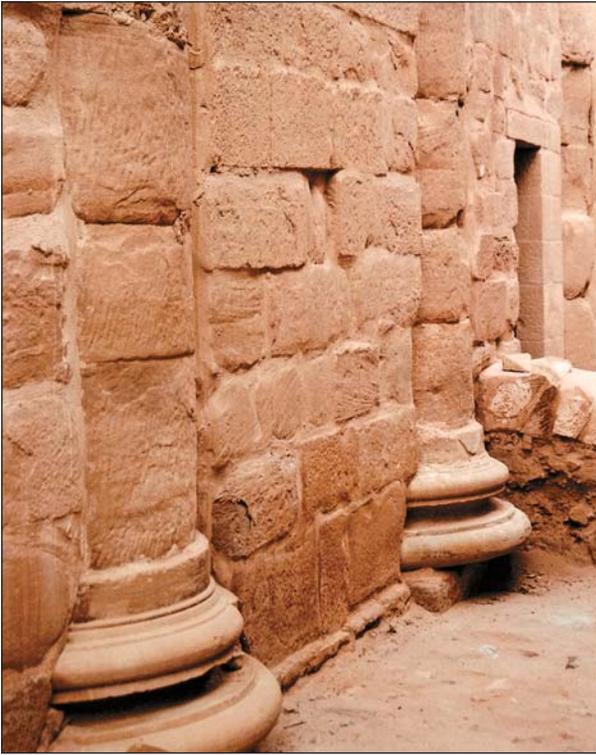
Ниже приводится список типов сейсмических разрушений, выявленных при наших работах на Ближнем Востоке.

Систематически направленные наклоны и обрушения стен, колонн, а также горизонтальное смещение (выдвижение) отдельных частей строительных конструкций представляют собой результат сильных землетрясений. В таких случаях нижняя часть строительной конструкции сместилась вместе с грунтом в направлении соответствующих сейсмических подвижек, в то время как верхние части остаются на месте из-за инерции.

Нахождение обрушившихся обломков на значительном расстоянии от их первоначального положения служит критерием высокой интенсивности землетрясения. При несейсмических разрушениях обломки обычно отлетают на расстояние



Руины храма Дочери Фараона. Вверху — выдвижение верхних частей стен относительно нижних рядов блоков. Внизу слева — следы двух землетрясений. Нижний слой хорошо обработанных блоков после первого землетрясения надстроен блоками худшей обработки. Однако и эта часть стены была развернута по часовой стрелке во время второго землетрясения. Интенсивность обоих землетрясений не менее 9 баллов по шкале МСК-64. Справа — сквозные трещины в Великом храме Петры, пробивающие несколько каменных блоков. Для их возникновения необходимо высвобождение огромного количества энергии.



Поврежденные во время землетрясения римские колонны Великого храма, усиленные дополнительной стеной (слева). Каменный «барабан» из разрушенных во время раннего землетрясения колонн в более позднем храме (справа).

не более $1/3$ первоначальной высоты строительной конструкции. Так, в развалинах древней Шивты (Израиль) камни, слагающие сельскохозяйственные стены высотой до 1 м, были отброшены на расстояние до 8 м.

Провисшие замковые камни в арочных конструкциях отражают мгновенное растяжение, во время которого камень успевает немного проскользнуть вниз. Такое кратковременное растяжение сменяется затем обычным состоянием сжатия. Его и демонстрирует замковый камень в новом положении. Мгновенное растяжение вызывается сейсмическим ударом, который и обуславливает моментальный наклон верхней части арочной опоры.

Вращение отдельных каменных блоков или частей стен вокруг вертикальной оси вызывается сейсмическими движениями, действующими под углом (в плане) к объекту. В поврежденных зданиях также наблюдаются следы вращения строительных элементов вокруг *горизонтальной оси*. Такое вращение может быть следствием высвобождения неравномерных напряжений, накопившихся в стенах.

Трещины, пробивающие насквозь несколько соседних строительных блоков или даже целую стену, свидетельствуют о сильном землетрясении, так как для преодоления пространства между соседними блоками требуется значительная энергия. Конечно, подобные трещины образуются и при взрывах, и при ударах таранов, но практи-

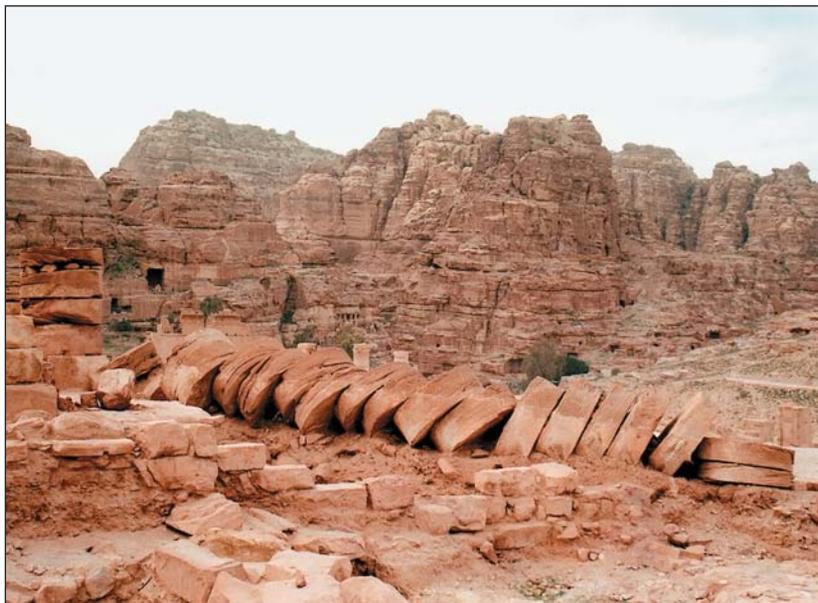


Раскрытая трещина в рыхлом насыпном грунте, образовавшаяся, по-видимому, при землетрясении 363 г.

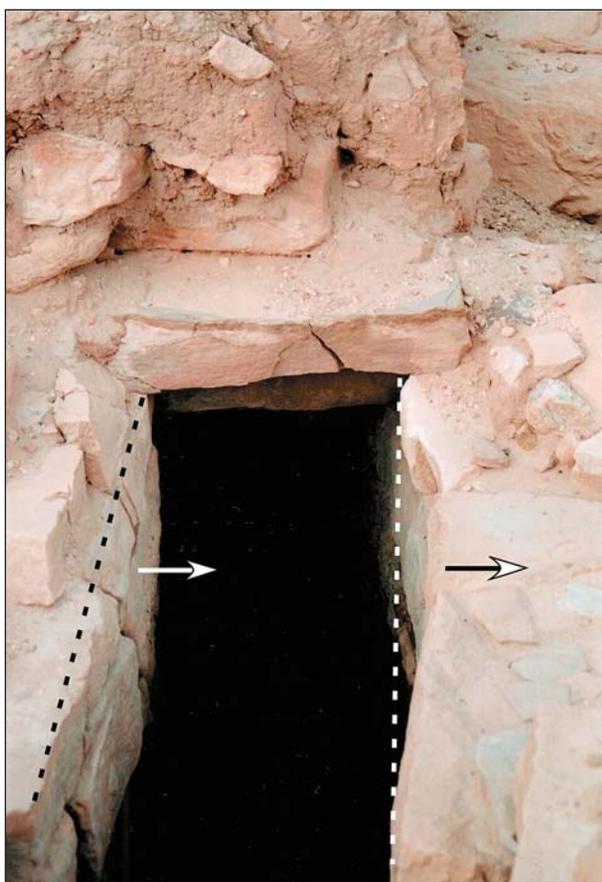
чески никогда при статической нагрузке в течение долгого срока.

Трещины в дверных порогах, подоконниках, а также в дверных и оконных перекрытиях вызываются сейсмическими движениями, действующими параллельно данным строительным элементам.

Разрушение углов зданий при землетрясениях обычно происходит в результате колебаний перпендикулярно соединенных стен в различных направлениях.



Разрушенные колонны Великого храма. Учитывая, что они не были разобраны, обрушение произошло после землетрясения 632 г. и оккупации территории арабами.



Треснутая плита-перекрытие над коридорами в храме Дочери Фараона. Стрелками также показана систематическая изгибная деформация стен. Штриховые линии фиксируют положение стен до начала сейсмических колебаний.

Лучшая сохранность стен определенной ориентировки говорит об аналогичном направлении сейсмических движений.

Следы ремонта и стены-контрфорсы служат признаками сейсмических повреждений.

Свидетельства сильных землетрясений в археологическом комплексе становятся тем более очевидными, чем больше выделяется типов и случаев сейсмических повреждений. Обнаруженные сейсмические деформации моложе самих строительных конструкций, но старше последующего ремонта или перекрывающих сооружений.

Следы исторических землетрясений в Петре

Землетрясения в Иордании известны не понаслышке. Самым

древним сейсмическим событием, нашедшим свое отражение на страницах Священного Писания, считается землетрясение, при котором произошло разрушение древних городов Содома и Гоморры и еще семи поселений в округе. Оно случилось в районе Мертвого моря около 2150 г. до н.э. Магнитуда (M) события оценивается в 7.0–7.3 [11–12].

В 1050 г. до н.э. сильное ($M = 6.2$) землетрясение произошло близ Тимны [12]. Сейсмические колебания привели к обрушению знаменитых копей Царя Соломона. В то время иудейская Петра уже существовала, и это событие должно было там ощущаться.

Землетрясение 2 сентября 31 г. до н.э. ($M = 7.0$) разрушило города Кумран и Иерихон [12]. Иосиф Флавий в своих «Еврейских войнах» писал, что это событие привело к гибели 30 тыс. человек, а также неисчислимого количества скота в Палестине [13].

Несколько сильных землетрясений оставили следы и в Петре. Однако свидетельства сейсмических событий, произошедших до наступления нашей эры, скудны из-за многочисленных более поздних перестроек и строительства монументальных сооружений. В то время одно из землетрясений повредило арку в храме Дочери Фараона. Для ее поддержки под замковыми блоками установили четырехугольную колонну. Но следующее землетрясение частично разрушило и колонну. Пришлось для укрепления конструкции заложить все пространство под аркой.

Жители набатейской Петры должны были ощутить землетрясение 48 г. н.э. Р.Л.Ковач его эпицентр помещает в Вади-эль-Араба и оценивает магнитуду в 6.2 [12]. По данным этого исследователя, именно тогда был разрушен набатейский храм

в ущелье Рам, расположенном в 40 км к востоку от городов Айлы (современная Акаба) и Петры.

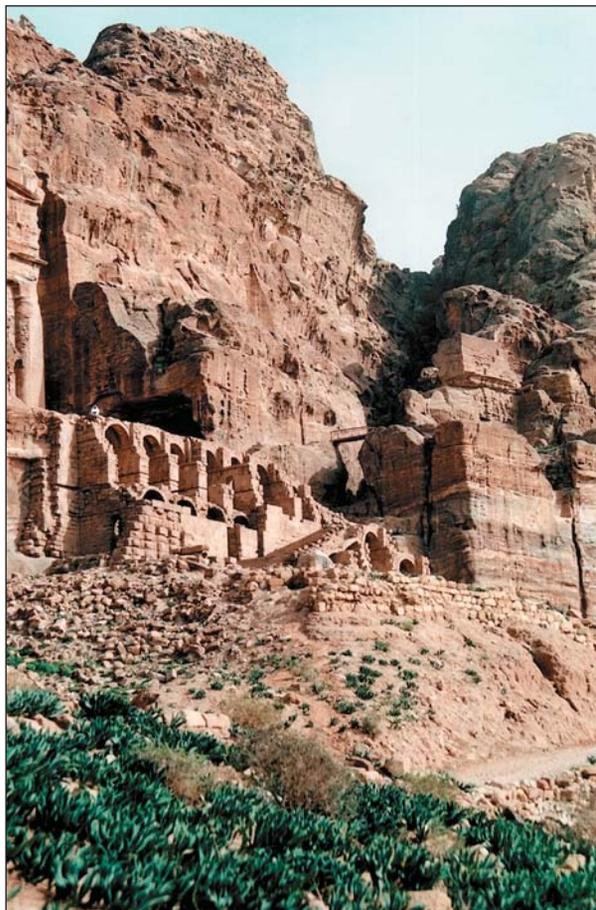
Значительные повреждения и серьезные разрушения Петра получила при землетрясении 19 мая 363 г., которое также оставило свои следы в обширном регионе — от оз.Кинерет на севере до Акабы на юге. Так, например, имеются сведения о цунами на Мертвом море при данном сейсмическом событии. Приводится большое количество исторических записей с описанием этого землетрясения [13—16]. Кроме того, под обломками зданий в районе Петры—Эз-Зантура и в Акабе найдены монеты, датируемые 358—361 гг., которые подтверждают разрушения в обоих городах при данном сейсмическом событии [17].

Начиная с V в. н.э. Петра процветала и была одним из центров Византийской империи. В то время одну из королевских гробниц (гробницу Урны) перестроили в церковь. На протяжении V—VI вв. были воздвигнуты новые храмы, при строительстве которых часто использовались каменные блоки и архитектурные элементы набатейских сооружений греческого и римского времени.

Обугленные свитки, найденные в церкви Петры, относятся к периоду ее византийского существования [5]. Считается, что храм был разрушен во время пожара в конце VI или начале VII в. Последняя зарегистрированная дата на свитках — 597 г. Но известно, что в древнем Аэреополисе (к востоку от Мертвого моря) обнаружено строение с надписью «Восстановлено в 492 (597—598 г. н.э.) после землетрясения» [18]. Таким образом, возможно, именно это событие также вызвало разрушения в Петре.

После пожара церковь Петры прекратила свое существование: составляющие ее строительные блоки были растащены, и остаток здания переделан в жилой комплекс. Свидетельства двух землетрясений отмечались на здании бывшего храма и позже: одно в VII в., другое в Оттоманский период. Тогда не осталось ни одной стоящей колонны [19].

Скорее всего, именно землетрясение VII в. стало причиной заката развитой набатейско-римско-византийской цивилизации в регионе. Это сильное сейсмическое событие было зарегистрировано в 632 г. практически во всех набатейских городах в пустыне Негев [5—10, 20]. Его интенсивность, судя по характеру деформаций, составляла не менее 9 баллов (по шкале МСК-64). Именно оно разрушило Петру и другие города вокруг, оставив знаменательные



Руины древней Петры.



Не раскопанные до сих пор городские кварталы Петры.

следы сейсмического воздействия. В развалины набатейских городов вошли арабы-мусульмане, не встретив сопротивления местных жителей-христиан, дезорганизованных землетрясением.

После повсеместных разрушений, вызванных землетрясением 632 г., Петра уже не смогла оправиться. Впоследствии регион неоднократно подвергался сотрясениям, вызванным сильными сейсмическими толчками. Но они не оставили значительных следов, поскольку разрушенные дома, построенные из каменных блоков, стали уже частью грунта. Эти руины стали «окаменевшими сейсмографами». Они ждут исследователей для интерпретации сейсмических деформаций, которые могут помочь выявить место, силу и время сильных землетрясений прошлого.

В VII в. в развалины города пришли кочевники-бедуины со своими стадами. Они там мирно жили более тысячи лет — до конца XX в., до тех пор пока древний город не объявили сокровищницей ЮНЕСКО. Сейчас Петра — Мекка для туристов и археологов со всего мира. Покинутый город может также служить полевой школой для студентов и аспирантов, интересующихся археосейсмологическими исследованиями. Пока археологи раскопали лишь 10% площади древней Петры. Дальнейшие работы приведут к новым научным открытиям, к уточнению местной сейсмической интенсивности исторических землетрясений и, следовательно, к более точной оценке сейсмической опасности данного региона, Иордании и Ближнего Востока в целом. ■

Литература

1. *Abed A.M., Jarrar G., Atallab M.* Geology of Jordan // An overview: 6th Jordanian Geological Conference, 5—8th of Oct., 1998. Amman, 1998.
2. *Klinger Y., Avouac J.P., Dorbath L. et al.* Seismic behaviour of the Dead Sea fault along Araba valley, Jordan // *Geophys. J. Int.* 2000. V.142. №3. P.769—782.
3. *Korjenkov A.M., Arrowsmith J.R., Crosby C. et al.* Seismogenic destruction of the Kamenka medieval fortress, northern Issyk-Kul region, Tien Shan (Kyrgyzstan) // *Journal of Seismology.* 2006. №10. P.431—442.
4. *Rukieh M., Trifonov V.G., Dodonov A.E. et al.* Neotectonic map of Syria and some aspects of Late Cenozoic evolution of the northwestern boundary zone of the Arabian plate // *Journal of Geodynamics.* 2005. V.40. P.235—256.
5. *Korjenkov A.M., Mazor E.* Earthquake characteristics reconstructed from archeological damage patterns: Shivta, the Negev Desert, Israel // *Isr. J. Earth Sci.* 1999. V.48. P.265—282.
6. *Korjenkov A.M., Mazor E.* Seismogenic origin of the ancient Avdat ruins, Negev desert, Israel // *Natural Hazards.* 1999. V.18. №3. P.193—226.
7. *Korjenkov A.M., Mazor E.* Archeoseismology in Mamshit (southern Israel): Cracking a millennia code of earthquakes preserved in ancient ruins // *Archaeologischer Anzeiger.* 2003. №2. P.51—82.
8. *Korjenkov A.M., Mazor E.* Diversity of earthquakes destruction patterns: The Roman-Byzantine ruins of Haluza, Negev desert, Israel // *Archaeologischer Anzeiger.* 2005. №2. P.1—15.
9. *Korzhenkov A.M., Mazor E.* Archaeoseismological damage pattern at the ancient ruins of Rehovot-ba-Negev, Israel // *Archaeologischer Anzeiger.* 2014. №1. P.75—92.
10. *Korzhenkov A.M., Mazor E.* Structural reconstruction of seismic events: Ruins of ancient buildings as fossil seismographs // *Science and New Technologies.* 1999. №1. P.62—74.
11. *El-Isa Z.H.* Earthquake studies of some Archaeological sites in Jordan // Ed.A. Hadidi. *Studies in the History and Archaeology of Jordan.* V.II. L., 1985. P.229—235.
12. *Kovach R.L.* Earthquake hazard in Jordan // *Natural Hazards.* 1988. V.1. P.245—254.
13. *Guidoboni E.* Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to the 10th century. Roma, 1994.
14. *Amiran D.H.K., Arien E., Turcotte T.* Earthquakes in Israel and adjacent areas: Macro seismic observations since 100 B.C.E. // *Israel Exploration Journal.* 1994. V.44. P.260—305.
15. *Russell K.W.* The earthquake of May 19, A.D. 363 // *Bulletin of the American School of Oriental Research.* 1980. V.238. P.47—64.
16. *Russell K.W.* The earthquake chronology of Palestine and Northwest Arabia from the 2nd through the mid-8th century A.D. // *Bulletin of the American School of Oriental Research.* 1985. V.260. P.37—59.
17. *Parker S.T.* Brief notice on a possible early 4th century church at Aqaba, Jordan // *Journal of Roman Archaeology.* 1999. V.12. P.372—376.
18. *Neimi T.M.* Paleoseismology and archaeoseismology of sites in Aqaba and Petra, Jordan // *Dead-Sea Workshop.* Mitzpe Ramon, 2009. P.119—124.
19. *Feima Z.T., Kanellopoulos C., Waliszewski T., Schick R.* The Petra Church / Ed.P.M.Bikai. Amman, 2001.
20. *Fabian P.* Evidence of earthquakes destruction in the archaeological record — the case of ancient Avdat // *Israel Geological Society Annual Meeting.* Mitzpe Ramon, 1998. P.21—26.

Точечное воздействие в иммунотерапии рака

М.С.Кондратова,
кандидат биологических наук
Институт Кюри (Institut Curie)
Париж (Франция)

Мы привыкли думать об иммунной системе как о мощном и безопасном оружии организма против внешних (инфекции) и внутренних (опухоли) врагов и зачастую не задумываемся, что эти качества в некотором роде взаимосключающие. Лишь относительно редкие примеры системных аутоиммунных заболеваний напоминают о том, какой страшной разрушительной силой для организма может обладать иммунитет, выйдя из-под контроля.

Сочетание силы и точности достигается за счет сложной, многоуровневой системы регуляции иммунного ответа. В ее основе лежит несколько простых принципов, два из которых особенно важны в контексте данной статьи. Первый — принцип перестраховки: для активации адаптивного иммунного ответа требуется более одного сигнала (подобно тому как самые надежные сейфы закрываются двумя и более ключами). Это позволяет минимизировать риск случайных ошибок в системе. Второй — принцип баланса между активацией и угнетением иммунных реакций, при этом угнетение уже встроено в активацию и служит предохранителем, который должен сработать спустя определенное время.

Сигнальные молекулы, активирующие или ингибирующие клетки иммунной системы, можно разделить на растворимые и мембраносвязанные. Последние передают соответствующий сигнал только при прямом контакте двух клеток. Белки, принимающие в этом участие, названы контрольными точками иммунитета (immune checkpoints) [1, 2]. Как работают эти белки и для чего они нужны, можно проиллюстрировать на примере активации Т-клеточного ответа.

Т-лимфоциты — одна из главных групп клеток адаптивного (приобретенного) иммунитета позвоночных. Цитотоксические Т-лимфоциты (Т-киллеры) обеспечивают распознавание и уничтожение клеток (в том числе и опухолевых), несущих на поверхности чужеродные антигены. Присутствие в опухоли большого числа активных клеток этого типа — благоприятный признак, однако наивные (еще не встречавшиеся с антигеном) Т-клетки из-

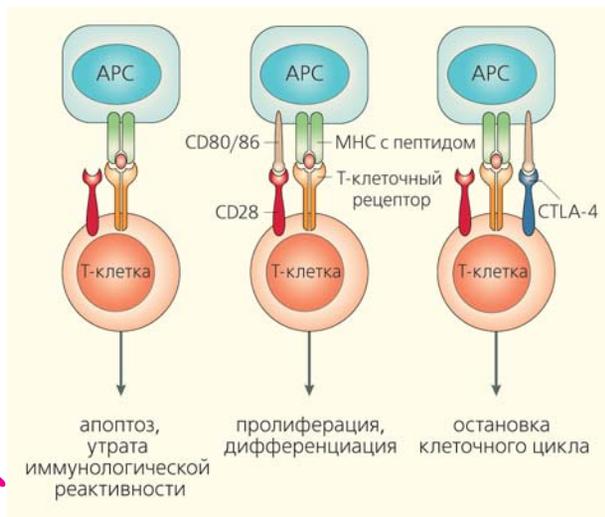
начально не способны распознать антиген непосредственно на поверхности опухолевой или бактериальной клетки. Прежде они должны научиться этому с помощью специальной группы клеток врожденного иммунитета — так называемых антигенпредставляющих клеток (Antigen-Presenting Cell, APC). Эту функцию в организме выполняют дендритные клетки, макрофаги и В-лимфоциты.

APC разными способами поглощают, а затем и расщепляют опухолевые белки (антигены) на небольшие пептидные фрагменты, которые связываются с белками главного комплекса тканевой совместимости (Major Histocompatibility Complex, МНС) и уже в таком «адаптированном» виде предъявляются Т-клеткам. Только антигенный пептид, связанный с комплексом МНС, может активировать Т-клетку. Это условие необходимое (первый ключ от сейфа), но не достаточное.

На поверхности APC присутствуют также специальные дополнительные молекулы-активаторы — белки CD80 и CD86. Они служат лигандами расположенной на поверхности Т-клетки молекулы CD28 — дополнительного стимулятора Т-клеточного ответа (второй ключ, или вторая контрольная точка активации). В отсутствие этого дополнительного сигнала Т-клетка не только не активируется, но и становится толерантной к антигену, представленному на поверхности APC. Таким образом, без дополнительных активаторов адаптивный ответ не активируется, а угнетается (рис.1) [3].

Так протекает процесс активации Т-клеточного ответа. Одновременно, практически сразу, в Т-клетке запускаются процессы, ведущие к сдерживанию, ограничению, их защитной, но потенциально разрушительной деятельности. Вскоре после активации Т-лимфоциты начинают синтезировать белок-рецептор CTLA-4 (Cytotoxic T-Lymphocyte-Associated protein 4), который служит одной из важнейших контрольных точек ингибирования Т-клеточного ответа. CTLA-4 связывает те же лиганды CD80 и CD86, что и CD28, но делает это гораздо эффективнее. Эти два рецептора начинают конкурировать за лиганды, и активация Т-клеток ослабляется.

Действуя вместе с основным антигенраспознающим рецептором (T-Cell Receptor, TCR), CD28



Регуляция активности Т-клеток при взаимодействии с антигенпредставляющими клетками (АРС) [3].

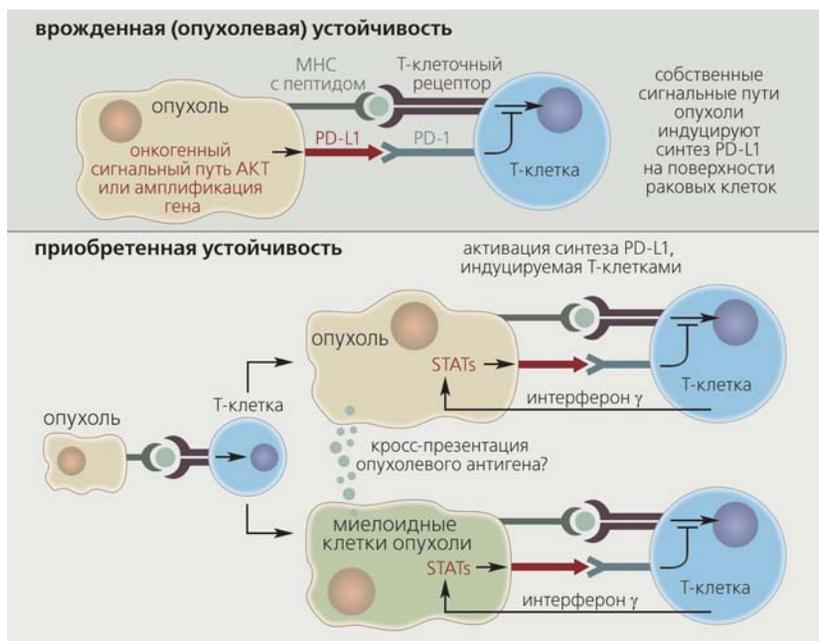
активирует целый ряд внутриклеточных киназ — ферментов, фосфорилирующих другие белки. Сигнал от CTLA-4, напротив, приводит к активации фосфатаз — ферментов, которые дефосфорилируют другие белки. Таким образом, регуляция иммунного ответа происходит не только на мембранном, но и на внутриклеточном уровне [2]. Этот молекулярный «предохранитель» необычайно важен для ограничения развития аутоиммунных заболеваний. Мыши, у которых ген белка CTLA-4 был искусственно выключен, погибали от системной аутоиммунной реакции [4].

Другая хорошо изученная точка ингибирования Т-клеточного ответа — рецептор PD-1. Он активируется несколькими разновидностями мембраносвязанных лигандов. Рецепторов PD-1, как и CTLA-4, на поверхности наивных Т-клеток нет, они начинают синтезироваться только после активации иммунного ответа. Ингибирование, зависящее от PD-1, также включает активацию внутриклеточных фосфатаз, но развивается медленнее, чем с участием CTLA-4. Интересно, что синтез лигандов для рецептора PD-1 во многих клетках регулируется интерфероном γ — одним из ключевых цитокинов, активирующих иммунный ответ [2, 5]. Таким образом, и здесь мы видим встроенный «предохранитель» — связь между активацией и ингибированием (рис.2).

В здоровом организме между активацией и ингибированием иммунного ответа существует баланс, позволяющий, с одной стороны, успешно бороться с патогенами, а с другой — избежать излишних повреждений. Нарушение этого баланса в опухоли считается одной из ключевых причин злокачественного перерождения. Селекция, проходящая в опухоли, ведет к отбору раковых клеток, способных угнетать иммунный ответ. Раковые клетки используют множество разнообразных стратегий для обмана врожденного и приобретенного иммунитета. Одна из них — индукция экспрессии генов, кодирующих синтез лигандов для ингибирующих рецепторов на поверхности раковых клеток, что приводит к угнетению Т-клеточного ответа в опухоли.

Этот механизм иммунологической супрессии в злокачественных перерождениях был детально изучен для системы PD-1. Выяснилось, что во многих опухолях лиганды, запускающие ингибирование Т-клеточного ответа через этот рецептор, активно синтезируются не только раковыми, но и другими присутствующими в опухоли клетками (например, макрофагами и дендритными клетками) [5, 6]. Это может служить классическим примером «перепрограммирования», когда клетки опухолевого окружения, в том числе те, которые должны бороться со злокачественным перерождением, вместо этого начинают работать на опухоль.

Изучение механизмов избегания иммунного ответа опухолями привело к идее создания лекарств, регулирующих работу контрольных точек ингибирования в Т-клетках. Если активация CTLA-4 и PD-1 их лигандами препятствует развитию Т-клеточного ответа, то блокирова-



Регуляция синтеза PD-L1 (лигандов рецептора PD-1) в иммунных клетках и опухоли [2]. STATs — белки, определяющие реакцию иммунной системы.

ние этих рецепторов с помощью специфических антител может привести к восстановлению нормального ответа иммунных клеток и усилению их противоопухолевой активности. Первые статьи на эту тему появились еще в конце 1990-х годов, но путь от научной идеи до появления нового лекарства (ингибитора ингибиторов) оказался неблизким. Только в 2011 г. Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (Food and Drug Administration, USA) разрешило выпустить на рынок первый лекарственный препарат этой группы, содержащий моноклональные антитела к CTLA-4 — Ipilimumab, а в 2014 г. одобрение получил второй препарат с моноклональными антителами к PD-1 — Nivolumab. Теперь, когда почин положен, можно надеяться на стремительное развитие фармакологии в этом направлении.

В настоящее время оба препарата одобрены для лечения меланомы, причем каждый из них оказался высокоэффективен в терапии метастатической меланомы, а их совместное использование значительно усиливает фармакологический эффект [7]. Сейчас ведутся клинические испытания возможности применения этих лекарств и для лечения рака простаты, легких и почек. Однако в бочке оптимистических новостей о перспективах нового метода лечения присутствуют две ложки дегтя. Первая — это фантастически высокая стоимость: на курс лечения при использовании обоих препаратов требуется несколько сотен тысяч долларов. Но эта проблема представляется преодолимой, хотя, конечно, сама технология производства моноклональных антител подразумевает, что такого рода терапия никогда не будет совсем уж дешевой. Вторая проблема заключается в том, что иммунотерапия показывает хорошие результаты только при так называемых иммуногенных опухолях, которые синтезируют специфические опухолевые антиге-

ны. Иммунная система такие новообразования «видит», но не может им противостоять, поскольку «оглушена» супрессорными сигналами. Как только мы убираем ингибирующие сигналы, Т-лимфоциты начинают уничтожать раковые клетки. К сожалению, значительная часть злокачественных перерождений обладает очень низкой иммуногенностью и не распознается защитными системами организма. В таких случаях иммунотерапия не оказывает значительного эффекта.

Однако эти оговорки не отменяют действительно большого успеха нового класса иммунологических препаратов. Теперь ученые с большим интересом присматриваются к другим ингибирующим рецепторам, блокировка которых способна усилить противоопухолевый ответ иммунной системы. В настоящее время перспективными мишенями для иммунотерапии считаются ингибирующие рецепторы естественных киллеров (Killer cell Immunoglobulin-like Receptors, KIR), а также белки LAG3, TIM3 и CD276. Можно надеяться, что в ближайшие годы появятся новые препараты «точечного» действия, которые закрепят успех этого подхода и подарят шанс на продление жизни множеству пациентов [2].

В нашем институте сразу несколько экспериментальных групп изучают поведение иммунной системы при раке и механизмы ее активации, в том числе и с помощью активации/ингибирования «контрольных точек» иммунного ответа. В лаборатории вычислительной системной биологии рака, где я работаю, строится модель иммунного ответа, которая базируется на экспериментальных данных. Это позволит предсказать новые перспективные точки воздействия на иммунитет. Мы полагаем, что общими усилиями сможем развить и закрепить успехи, достигнутые нашими коллегами, и предложить новые подходы к иммунотерапии рака. ■

Литература

1. *Pardoll D.M.* The blockade of immune checkpoints in cancer immunotherapy // *Nat. Rev. Cancer.* 2012. V.12. P.252—264. Doi:10.1038/nrc3239.
2. *Topalian S.L., Drake C.G., Pardoll D.M.* Immune checkpoint blockade: a common denominator approach to cancer therapy // *Cancer Cell.* 2015. V.27. P.450—461. Doi:10.1016/j.ccell.2015.03.001.
3. *Alegre M.L., Frauwirth K.A., Thompson C.B.* T-cell regulation by CD28 and CTLA-4 // *Nat. Rev. Immunol.* 2001. V.1. P.220—228. Doi:10.1038/35105024.
4. *Tivol E.A., Borriello F., Schweitzer A.N. et al.* Loss of CTLA-4 leads to massive lymphoproliferation and fatal multiorgan tissue destruction, revealing a critical negative regulatory role of CTLA-4 // *Immunity.* 1995. V.3. P.541—547. Doi:10.1016/1074-7613(95)90125-6.
5. *Keir M.E., Butte M.J., Freeman G.J. et al.* PD-1 and its ligands in tolerance and immunity // *Annu. Rev. Immunol.* 2008. V.26. P.677—704. Doi:10.1146/annurev.immunol.26.021607.090331.
6. *Taube J.M., Klein A., Brahmer J.R. et al.* Association of PD-1, PD-1 ligands, and other features of the tumor immune microenvironment with response to anti-PD-1 therapy // *Clin. Cancer Res.* 2014. V.20. P.5064—5074. Doi:10.1158/1078-0432.CCR-13-3271.
7. *Kroemer G., Galluzzi L.* Combinatorial immunotherapy with checkpoint blockers solves the problem of metastatic melanoma—An exclamation sign with a question mark // *Oncoimmunology.* 2015. V.4. №7. e1058037. Doi:10.1080/2162402X.2015.1058037.

Сверхъяркая сверхновая ASASSN-15lh

М.В.Пружинская,

кандидат физико-математических наук

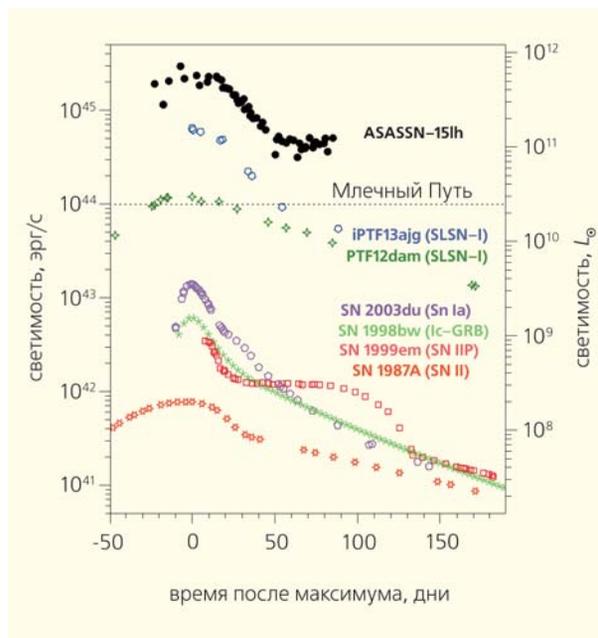
Государственный астрономический институт им.П.К.Штернберга МГУ им.М.В.Ломоносова,
Лаборатория физики частиц Университета Блеза Паскаля
Клермон-Ферран (Франция)

В одном из январских выпусков «Science» вышла статья об открытии самой яркой из когда-либо наблюдавшихся сверхновых (СН) — ASASSN-15lh [1]. Она была обнаружена 14 июня 2015 г. международным коллективом исследователей, работающим в рамках американского проекта по поиску сверхновых звезд ASAS-SN (All-Sky Automated Survey for Supernovae — Автоматический обзор неба для поиска сверхновых)*. В июле статья об открытии появилась в Архиве** — электронной библиотеке, куда часто выкладываются научные публикации до выхода журнала в случае, если открытие важное, или после, если, например, доступ к журналу платный. В распоряжении проекта находятся два инструмента — «Брут» и «Касий», расположенные в двух точках земного шара: на вулкане Халеакала (Гавайи) и на территории астрономической обсерватории Серро-Тололо (Чили). Каждый инструмент состоит из четырех 14-сантиметровых телескопов, установленных на одной монтировке. Вместе они позволяют осматривать 20 тыс. квадратных градусов за ночь с глубиной обзора вплоть до 17^m при условии хорошей астрономической видимости (для сравнения: все небо ~40 тыс. квадратных град.). На счету проекта уже 282 открытых сверхновых***. Проект эффективно работает, соревнуясь с аналогичными, но более крупными обзорными программами. ASASSN-15lh — яркий пример того, что открытия мирового уровня можно совершать и с телескопами совсем небольшого размера.

Светимость открытой звезды достигла величины $L = (2.2 \pm 0.2) 10^{45}$ эрг/с, что почти в два раза больше, чем у предыдущего рекордсмена CSS100217 [3]. Обе эти сверхновые принадлежат

к особому классу так называемых сверхъярких сверхновых — объектов, чья абсолютная звездная величина в максимуме блеска $M < -21^m$, а полная излучаемая энергия $E > 10^{51}$ эрг. Таким образом, сверхъяркие СН как минимум в 10 раз ярче, чем типичные СН Ia, используемые в качестве индикаторов космологических расстояний.

Вспышки сверхъярких сверхновых — довольно редкие события. Сейчас их известно около двух десятков (еще примерно 30 остаются кандидатами) [4]. Однако, несмотря на малое количество этих звезд, уже обнаружены качественные различия внутри их популяции. Основываясь на спектраль-



Болометрическая кривая блеска ASASSN-15lh в сравнении с кривыми блеска других сверхновых: сверхъярких СН I — iPTF13ajg, PTF12dam, СН Ia — 2003du, СН Ic, ассоциированной с гамма-всплеском (так называемые гиперновые) — 1998bw, СН с плато на кривой блеска (IIP) — 1999em и знаменитой СН 1987A, вспыхнувшей в Большом Магеллановом Облаке [1]. Болометрическая светимость Млечного Пути отмечена пунктирной линией.

* Среди российских проектов наибольшее количество сверхновых открывается в рамках проекта МАСТЕР (Мобильная астрономическая система телескопов-роботов, observ.pereplet.ru) [2].

** arxiv.org/pdf/1507.03010v3.pdf

*** Полный список доступен по адресу:

www.astronomy.ohio-state.edu/~assassin/sn_list.html



ных и фотометрических особенностях, сверхяркие сверхновые можно разделить на три типа. По аналогии с обычными сверхновыми к I типу относят объекты, в спектрах которых отсутствует водород, а ко II типу — напротив, объекты, в спектрах которых линии водорода наблюдаются. Наконец, существует тип R (сокращение от англ. radioactive): сверхновые этого типа имеют продолжительную медленно спадающую кривую блеска, форма которой, по всей видимости, обусловлена радиоактивным распадом кобальта.

На сегодняшний момент не существует исчерпывающего объяснения природы сверхярких сверхновых. Вероятно, огромной светимостью сверхяркие СН II обязаны взаимодействию выброса от звезды с плотной средой вокруг нее. Наиболее подходящий сценарий для «разгорания» сверхярких СН R — распады большого количества радиоактивного вещества, обра-



Телескопы инструментов «Кассий» в Чили (вверху) и «Брут» на Гавайях (внизу) проекта ASAS-SN.

www.astronomy.ohio-state.edu

зовавшегося в результате взрыва (возможный механизм взрыва в данном случае — потеря устойчивости в результате рождения электрон-позитронных пар). Наконец, тип I оказывается самой загадочной группой среди сверхъярких сверхновых: отсутствие водорода и гелия в спектрах исключает модель взаимодействия выброса с водородной средой, а слишком быстрое падение блеска после максимума не согласуется с моделью радиоактивного распада [5, 6].

Спектральный анализ показал, что ASASSN-15lh принадлежит к типу I, хотя и обладает некоторыми отличительными особенностями. Во-первых, она гораздо ярче своих «собратьев» — для объяснения светимости ASASSN-15lh потребовалось бы радиоактивного материала в количестве более 30 масс Солнца! Во-вторых, эта сверхновая взорвалась в гигантской галактике с массой звезд $2 \cdot 10^{11}$ масс Солнца (больше Млечного Пути) с низким темпом звездообразования, в то время как остальные члены популяции I принадлежат к карликовым галактикам с активным звездообразованием. Впрочем, не исключено, что на самом деле родительская галактика сверхновой является карликовым спутником, наблюдаемым в проекции на гигантскую галактику [1]. Красное смещение ASASSN-15lh $z = 0.23$, что характерно для сверхъярких сверхновых.

Возможность открывать сверхновые на больших красных смещениях — настоящий вызов для наблюдательной космологии. Пока самая далекая

сверхъяркая СН имеет красное смещение $z = 3.9$ [7] (для сравнения: самая далекая СН Ia обнаружена на $z = 2.26$ [8]). Напомню, что использование СН Ia в качестве «измерительного инструмента» стало возможным благодаря соотношению Раствор — Псковского — зависимости между абсолютной звездной величиной в максимуме блеска и скоростью падения блеска после максимума*. Подобное соотношение уже найдено и для сверхъярких сверхновых [9]. К сожалению, сейчас их количество недостаточно для определения космологических параметров. Однако с введением в строй таких телескопов, как LSST (Large Synoptic Survey Telescope — Большой обзорный телескоп), их число должно возрасти. Большой обзорный телескоп представляет собой широкопольный телескоп нового поколения. Телескоп строится на горе Серро-Пачон на севере Чили на высоте 2680 м над уровнем моря. Размер главного зеркала будет равняться 8.4 м, а поле зрения составит 9.6 квадратных градуса, что в 40 раз больше площади, которую занимает на небе Луна! Предполагается, что телескоп начнет полностью функционировать в 2022 г. Согласно расчетам, за 10 лет работы LSST откроет 10 тыс. сверхъярких сверхновых [10]. Весьма вероятно, что в будущем именно они станут «стандартными свечами» космологии. ■

* Подробнее см.: Пружинская М.В., Лисаков С.М. Как сверхновые стали основой наблюдательной космологии // Природа. 2015. №12. С.36—43.

Литература

1. Dong S., Shappee B.J., Prieto J.L. et al. ASASSN-15lh: A highly super-luminous Supernova // Science. 2016. V.351. Iss.6270. P.257—260.
2. Lipunov V., Kornilov V., Gorbvskoy E. et al. MASTER Robotic Net // Advances in Astronomy. 2010. V.2010. P.1—7.
3. Drake A.J., Djorgovski S.G., Mababalet A. et al. The discovery and nature of the optical transient CSS100217:102913+404220 // Astrophysical Journal. 2011. V.735. P.106.
4. Quimby R.M. Superluminous Supernovae // Supernova Environmental Impacts, proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium. 2014. V.296. P.68—76.
5. Sorokina E., Blinnikov S., Nomoto K. et al. Type I superluminous Supernovae as explosions inside non-hydrogen circumstellar envelopes // arXiv:1510.00834.
6. Moriya T. Supernovae interacting with circumstellar media // PhD thesis. 2013. (astro.uni-bonn.de/~moriyat/PhDMoriya.pdf)
7. Cooke J., Sullivan M., Gal-Yam A. et al. Super-luminous Supernovae at redshifts of 2.05 and 3.90 // Nature. 2012. V.491. P.228—231.
8. Rodney S.A., Riess A.G., Scolnic D.M. et al. Two SNe Ia at Redshift ~2: Improved classification and redshift determination with medium-band infrared imaging // Astronomical Journal. 2015. V.150. P.156.
9. Inserra C., Smartt S.J. Superluminous Supernovae as standardizable candles and high-redshift distance probes // Astrophysical Journal. 2014. V.796. P.87.
10. Scovaccicchi D., Nichol R.C., Baconet D. et al. Cosmology with superluminous Supernovae // arXiv:1511.06670.

Глубоководные коралловые банки

Н.Б.Келлер,

кандидат геолого-минералогических наук
Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН
Москва

Не так давно опытный биолог-подводник решил поразить меня «новым открытием»: «А знаешь, мы только что обнаружили коралловые рифы на глубине 2000 м!»

Мы неоднократно рассказывали на страницах «Природы» о разнообразных одиночных склерактиниях, обитающих в океане на глубинах до 6 км*. Однако то, что кораллы, образующие колонии, также могут встречаться на больших глубинах, до сих пор вызывает удивление и недоверие. Морфологически ископаемые скелеты таких образований очень похожи на рифообразующие кораллы, и различать их довольно сложно. Кар-

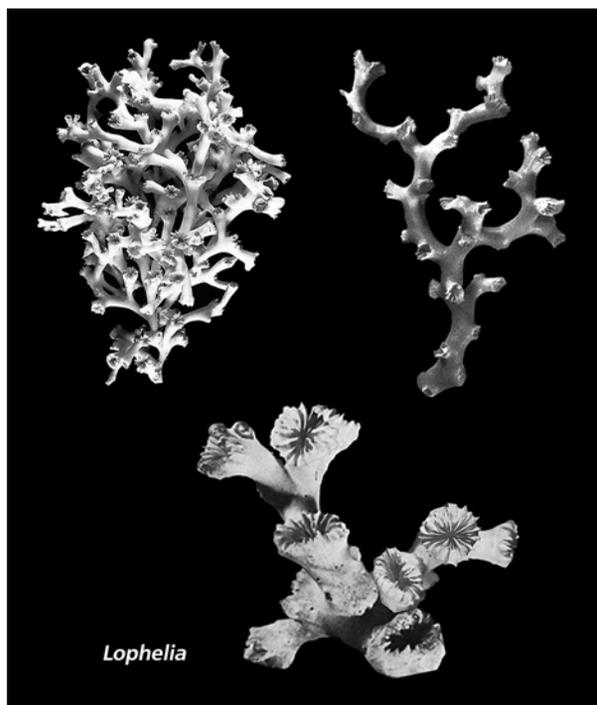
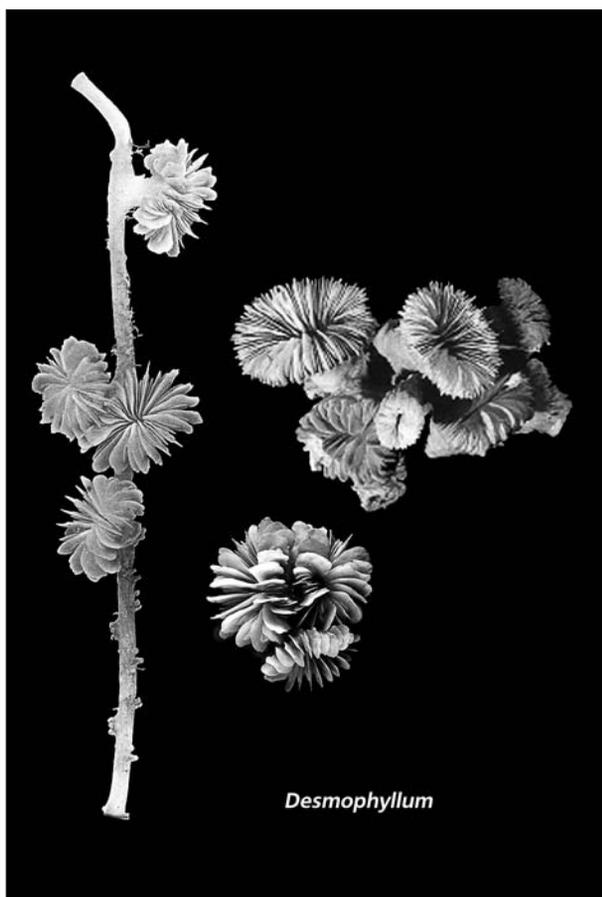
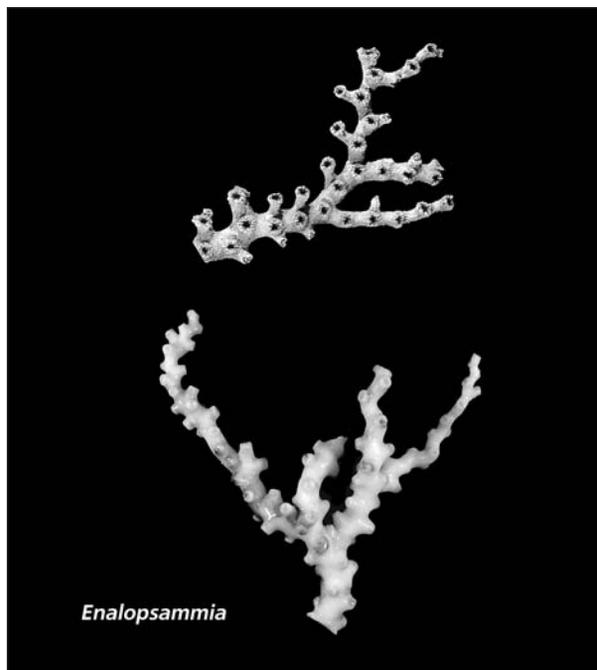
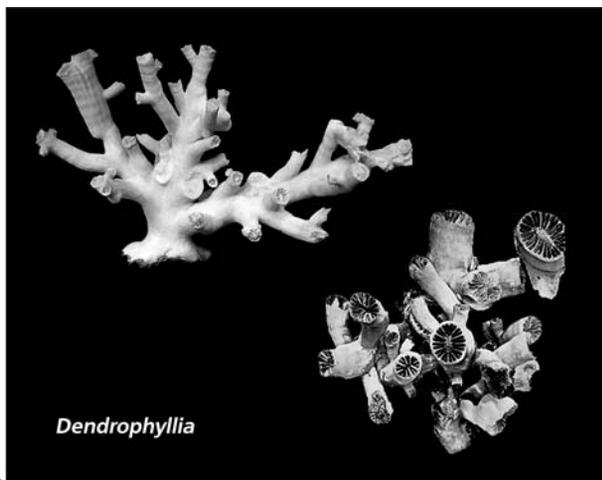
касы этих глубоководных рифоподобных структур, называемых банками, образуются одним или несколькими видами склерактиний на разных глубинах (от 100 до 2000 м) и при разных температурах (от 4 до 20°C). Поскольку, в отличие от рифообразующих, эти кораллы лишены зооксантелл, они не лимитированы экологическими требованиями, необходимыми для их процветания, и распространены очень широко — от Норвежского моря (70° с.ш.) до моря Росса (78°24' ю.ш.). В некоторых местах современного океана такие кораллы образуют густые массивные поселения (заросли), высоко вздымающиеся над дном. Виды склерактиний, которые формируют каркасы коралловых банок, слегка отличаются для каждого географического пространства. В большинстве банок присутствуют такие космополиты как *Desmophyllum dianthus* и *Solenosmilia variabilis*, тог-

* См., например: Келлер Н.Б. Пути проникновения склерактиний в глубины океана // Природа. 2012. №11. С.57–64.

© Келлер Н.Б., 2016



Карта расположения коралловых банок. Составлена Н.Б.Келлер по материалам экспедиций Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН [1].



Представители родов ветвистых склерактиний, образующих каркасы глубоководных коралловых банок.

да как другие виды представляют собой эндемики в определенных местах океанического бассейна (например, тихоокеанская *Goniocorella dumosa*). В Субантарктике доминирует *Solenosmilia variabilis*, образующая большие дендроидные колонии до 60 см в диаметре. Чилийские коралловые структуры основаны на *Desmophyllum dianthus* — крупном крепком одиночном виде, формирующем длинные псевдоколониальные

цепи. У северо-западного побережья Европы каркасы банок состоят из дендроидных колоний *Lophelia proliфера*, достигающих высоты 1 м, и реже — из *Madrepora ramea*. Основу зарослей, развитых южнее, составляют три рода ветвистых склерактиний: *Dendrophyllia*, *Madrepora* и *Lophelia*. Они «бесконечно встречаются среди пространств глинистого дна на шельфе и континентальном склоне Западной Европы, как пятна кус-

тарника среди пустыни» [2] на глубинах от 137 до 1000 м. С.Д.Кернс и Г.Д.Стенли составили карту распространения современных и древних коралловых банок в Мировом океане [3].

Кроме склерактиний в биоценоз банок входит около 190 видов разнообразной фауны: губки, горгонарии, гидроиды, сверлящие полихеты, мшанки, брахиоподы, многочисленны моллюски, морские звезды, офиуры, ракообразные [4]. Они либо фоссилизуются целиком, либо поставляют в осадок фрагменты, заполняющие промежутки между основными организмами, формирующими каркасы.

Когда такие банки поднимаются до малых глубин, критических для составляющих их основу холодноводных склерактиний, последние погибают (в частности, из-за повышения температуры), а затем нередко заносятся терригенными осадками.

По нашим наблюдениям, глубины 300–2000 м на горах Платона (Срединно-Атлантический хребет) заселены одиночными кораллами, среди которых попадаются отдельные кусты и заросли колониальных склерактиний видов *Leptopsammia formosa* и *Enalopsammia rostrata* [5]. На хребте Рейкьянес в интервале 1000–2000 м широко развиты богатые коралловые банки, каркас которых построен в основном космополитным видом *Solenosmilia variabilis*. Над их пышно развитыми колониями возвышаются тонкие высокие особи *Desmophyllum diantus* [1].

Коралловые банки в ископаемом состоянии представляют собой карбонатные тела осадочного происхождения — биогермы (мощностью до 60 м и протяженностью до 3 км) и биостромы (линзы сравнительно небольшой мощности протяженностью от десятков до нескольких сотен метров). Эти образования заключены в глинисто-сланцевых и аргиллитовых породах. Склоны и контакты биогермов с вмещающими синхронными толщами крутые, «в клин» или постепенные.

Контакты биостромов всегда постепенные, линзы выклиниваются по краям.

Скопления кораллов или других обладающих известковым скелетом организмов в ископаемом состоянии нередко служат коллекторами нефти и, следовательно, — индикаторами при ее поиске. Отсюда понятен интерес к глубоководным коралловым банкам, расположенным ниже фотической зоны.

Итак, современные коралловые банки развиваются на твердых субстратах, на глубинах не менее 100 м, в зонах активных течений либо в устьях фиордов, где для них обеспечивается хорошая аэрация и обильное питание.

Как же различить холодноводные биогермы и биостромы от биогермов и рифов тропического пояса, обитающих на глубинах до 60 м?

Каркас глубоководных карбонатных тел построен несколькими (не более чем четырьмя) видами кораллов, зачастую вообще преобладает только один. Форма колоний практически всегда дендроидная. Мелководные же рифы состоят из разнообразнейших кораллов многочисленных видов и родов. В биоценозах глубоководных банок отсутствуют известковые водоросли — непременный спутник склерактиний, формирующих тропические рифы. Глубоководные биостромы и биогермы, как правило, заключены в илах, глинистых сланцах и аргиллитах, тогда как мелководные коралловые рифы обычно окружены карбонатными породами.

Как мы видим, присутствие коралловых биогермов и биостромов в породах даже в случае наличия богатой и разнообразной сопутствующей фауны беспозвоночных само по себе вовсе не служит индикатором определенных условий: глубины, температуры, географической широты. Каждый самостоятельный случай обнаружения подобных образований требует тщательного анализа и размышлений, так как они могут формироваться в разных батиметрических и широтных зонах океана. ■

Литература

1. Келлер Н.Б. Мадрепоровые кораллы хребта Рейкьянес и гор Платона (северная часть Атлантического океана) // Тр. ИО АН СССР. 1985. Т.120. С.39–51.
2. Joubin L. Distribution géographique de quelques coraux abissaux dans les mers occidentales europeens // Acad. Sci. Paris. 1922. V.175. P.930–933.
3. Cairns S.D., Stanley G.D. Ahermatypic coral banks: living and fossil counterparts // Proceed. of the Fourth Internat. Coral Reef Sympos. Manila, 1982. V.1. P.611–618.
4. Teichert C. Cold- and deep-water coral banks // Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 1958. V.42. №5. P.1064–1082.
5. Келлер Н.Б. Глубоководные склерактиниевые кораллы. М., 2012.

Природный феномен или древний изобразительный комплекс?

М.Б.Успенская,

Православный Свято-Тихоновский гуманитарный университет
Москва

Вести из экзотической

Карелия занимает юго-восточную часть Балтийского кристаллического щита. Основные черты рельефа во многом связаны с проявлениями неотектоники, в результате которых отдельные части поверхности щита, расчлененного на блоки многочисленными разломами, были подняты и опущены на разные высоты. Это способствовало выведению на поверхность горных пород, по-разному реагирующих на процессы выветривания [1]. И если тектоника и деятельность ледника и талых ледниковых вод определили основные черты современного рельефа территории Карелии, то детальную работу над уже созданными формами с момента освобождения территории ото льдов вершат реки и ветры, процессы заболачивания, влияют на это и другие второстепенные факторы. Напомню, что территория Карелии относительно недавно освободилась от ледникового покрова, поэтому котловины озер еще не успели в значительной степени изменить свою форму, а реки не выработали продольный профиль. Большую часть Беломорского р-на слагают разнообразные по составу гнейсы и амфиболиты. Твердые кристаллические породы трудно поддаются размыву, поэтому большинство рек имеет ступенчатый профиль.

Река Нижний Выг вытекает из оз.Выгозеро. На участке от селения Выгостров до г.Беломорска река образует разветвленную сеть рукавов, между которыми находится множество каменистых островков, и далее двумя рукавами (Сорока и Шижня) впадает в Сорокскую губу Белого моря. Берега и острова в нижнем течении реки большей частью покрыты лесом. Скальные обнажения хранят следы древних оледенений: от ледниковой полировки и штриховки, которые были нанесены включенными в нижнюю поверхность ледника песком и гравием, до крупных ледниковых борозд, оставленных валунами. На участке в интервале 7–9 км от впадения реки в море обнаружены многочисленные археологические памятники: древние стоянки и скопления наскальных рисунков, получившие ныне мировую известность. Древние художники видели особенности ландшафта, в который встраивали свою историю. Они умели использовать элементы рельефа, которые становились естествен-

ной частью «каменной книги». Карелия изобилует геологическими памятниками. Для некоторых из них так и не решен вопрос о возможном соавторстве природы и человека.

Звериный остров

28 июля 2013 г. жительница Беломорска Людмила Ермоева обнаружила на одном из островов на р.Нижний Выг два камня необычной формы [2, с.224–229]. То, что они не были найдены ранее, связано с колебаниями уровня реки, которые зачастую предсказать невозможно. Из-за того что часть острова периодически уходит под воду, подходящие условия для детального осмотра камней сложились лишь год спустя*, когда удалось произвести тщательную фиксацию находок — как старых, так и новых.

Остров находится в 2-3 км от центра Беломорска, т.е. практически в черте города. На его берегах обнажаются прочные кристаллические породы, обработанные ледником. За счет того, что породы слоистые, ледник, воздействуя на них, преимущественно удалял менее стойкие породы, выявив более прочные прослои. Возможно, некоторые из этих прослоев и послужили «заготовками» для древнего мастера. Поразительно: на крошечном участке суши сосредоточено около десятка выступов, имеющих ярко выраженные зооморфные черты. Могла ли природа без участия человека создать целую галерею каменных фигур животных, близких по размерам к прототипам?

20 сентября 2014 г. вода в реке отступила, обнажив причудливый рельеф острова. Хорошо просматривалось дно реки в двух-трех метрах от берега, где под спокойной прозрачной водой так же угадывались каменные образования.

Из полевого блокнота

20 сентября 2014 г. Ю.А.Савватеев, я и сопровождающие из местных жителей выехали на двух лодках. Выходили, чтобы миновать пороги, волокли лодки по суше и снова плыли. Это особенный день. Необыкновенно яркий и солнечный. Во-

* Вест Н. Каменные звери Беломорья // National Geographic Россия. 2014. №134. С.80.

да стоит так низко, что все скальные выступы острова открылись нам, — и камни, известные уже по фотографиям Людмилы, и другие...

Безусловно, самым ярким событием этого дня стало обнаружение «выдры». Когда лодка ткнулась носом в берег, все пошло за Людмилой к ее камням. Мне же внимание привлекли длинные каменные жилы, выходящие из-под дерна. Взглядом проследовала я за ними и увидела, что они заканчиваются возвышением. Отойдя в сторону, застыла в великом изумлении, потом позвала остальных: «Выдра! Это выдра, выдра...». Не более минуты мои попутчики удивленно всматривались в каменное изваяние, потом согласились со мной.

22 сентября 2014 г. Небо хмурится. Вода поднялась так высоко, что каменные выступы на склоне наполовину скрыла река, а недавняя находка рядом с ними вовсе исчезла из виду. Однако по другую сторону склона пологий берег река пощадила. На нем также были обнаружены фигурные выступы, особенно впечатлила «черепаха».

10 октября 2014 г. Переменная облачность. В течение дня вода быстро прибывает, однако уровень ее остается несколько ниже отметки 22 сентября. Склон острова вновь подтоплен, а с ним и нижняя треть «лося». Спинка «выдры» напоминает крошечный островок в безбрежном океане, «выдренок» едва угадывается под тонким слоем мутной набегавшей воды. Сильная рябь сделала невозможной фотофиксацию и замеры подводных камней. Ветер нещадно трепал несколько травинков выше по склону. Скучную посылку сняли, и неровности микрорельефа соединились в целостный образ — фигуру распростертого на скальном полотне «медведя».

Фотофиксация каменных зверей Беломорья производилась на нерасчищенной поверхности острова. Дерн и отложения разного рода с камней не снимали. Это принципиальное решение было принято в связи с желанием запечатлеть необычный рельеф в первоначальном состоянии.

Вот описание наиболее выразительных персонажей зооморфной галереи острова, которые позволяют дать научное название ранее безымянному острову — Звериный.

Выдра. Каменное изваяние возвышается на подводной платформе и точно передает характерные для выдры вытянутое приземистое мускулистое тело, короткие крепкие лапы с мощными лопатками, приплюснутую треугольную голову,



Фигурный камень Выдра.

Здесь и далее фото автора



Рисунок речной выдры (Брэм А.Э. Жизнь животных. Т.1. М., 1992. С.257).

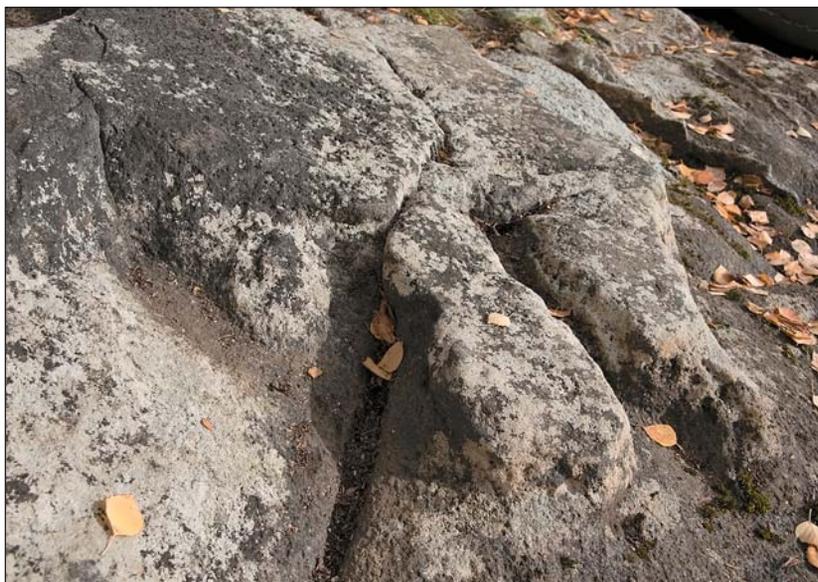


Фигура Выдренок.



Фигурная композиция — *Выдра* и *Выдренок*, вид сверху.

плавно переходящую в толстую шею. Из-под массивного слоя дерна тянутся к реке сложенные горными породами жилы и уходят в сверкающую золотом воду к этой едва ли не самой впечатляющей из каменных скульптур, обнаруженных на острове. Жилы образуют длинный разветвленный хвост, утолщенный и сплюснутый у основания. К хвосту примыкает фигура *Выдренка*. Длина изваяния *Выдры* от кончика носа до основания хвоста равна 0.8 м, а тела речной выдры — в среднем 0.853 м [3, с.232].



Фигурный камень *Медведь*.

Как известно, выдра любит сидеть на камнях, кочках и прочих выдающихся над землей местах, часто поедая на них свою добычу. Возможно, фигура отражает одну из интереснейших повадок этого животного — спуск со снежных горок [3], ведь выдра настолько гибка, подвижна и мускулиста, что способна на животе или на боку скользить довольно значительное расстояние. Но вероятна и иная интерпретация, так как существовал вид охоты на выдру с собакой, которая находит нору (часто среди корней деревьев) и выгоняет зверя оттуда. В этом случае объемное изображение вблизи хвоста можно было бы трактовать как охотничью собаку. Но вторая фигура обладает всеми типичными для выдры признаками. На задней лапе, возможно, сделана попытка изобразить плавательные перепонки.

Еще одним аргументом в пользу того, что это, скорее всего, все-таки выдренок, можно считать известное свойство выдр: детеныш долгое время находится под опекой заботливой матери, учится у нее приемам охоты, они часто охотятся вместе. Иногда на снегу можно встретить следы такой нераспавшейся семьи*.

Выдра распространена в Карелии повсеместно, однако последние 30 лет численность ее постоянно сокращается. Ныне вид занесен в Красные книги Карелии и Восточной Финноскандии.

Вверх по реке, в нескольких километрах от о.Звериного на скальном полотне о.Шойрукшин (Бесовы Следки), сплошь заполненным древними рисунками, выбито камнем по камню изображение выдры длиной 0.22 м. Возраст петроглифов ~5 тыс. лет [4, с.46]. Размеры знаменитого изображения выдры (по мнению В.И.Равдоникаса [5] — ящерицы) на мысе Бесов Нос (Онежское озеро) превышают 2.5 м.

Медведь. Фигура животного словно распростерта на склоне, массивная голова лежит между сильными передними лапами. Мощное тело, короткая шея, небольшие глаза. Фигура медведя, похоже, представлена в двух ра-

* Зворыкин Н.А. Выдра и охота на нее. М., 2005.

курсах одновременно: сверху и сбоку. Кончики лап покрыты выбоинами, как если бы неведомый скульптор пытался изобразить когти. Длина фигуры от 1.25 м (вид сбоку, от уреза воды) до 1.42 м (вид сверху), высота в холке около 1 м, т.е. параметры фигуры приближены к реальным размерам европейского бурого медведя (длина его тела обычно 1.2—2 м при высоте в холке около 1 м).

Култ медведя уходит корнями в глубины палеолита. Так, в 1918 г. немецкий археолог Э.Бехлер в пещере Драхенлох (Швейцария) обнаружил упорядоченные кучки медвежьих черепов, что доказывало, по его мнению, существование культа этого зверя у неандертальцев [6]. Австрийский палеонтолог О.Абель писал, что в мустьерский период в Центральной Европе охота на этих животных сопровождалась принесением в жертву их черепов и длинных костей [7]. В настоящее время памятники неандертальского поклонения медведю обнаружены на пространствах от испанских Пиренеев до Кавказа.

В 1922 г. в труднодоступной пещере Монтеспан на юго-западе Франции Н.Кастере обнаружил выгравированные изображения бизонов и лошадей, горельефы и фрагменты глиняных фигур животных, в том числе медведя*. *Монтеспанский медведь* лежит в позе Большого Сфинкса из Гизы, длина фигуры 1.5 м, высота — 0.6 м. Глина на месте шеи сглажена, между передними лапами статуи расположен череп настоящего медведя, массивное туловище изрешечено ударами копий. Когда-то, вероятнее всего, 35—30 тыс. лет до н.э., череп был закреплен на шее статуи [8, рис.65].

Древние люди воспринимали медведя как соперника в поиске убежищ или пищи, как добычу

или предмет культа. Особое отношение к этому зверю сохранилось до наших дней и отражено во многих культурах мира. На скалах Карелии изображение медведя встречается часто.

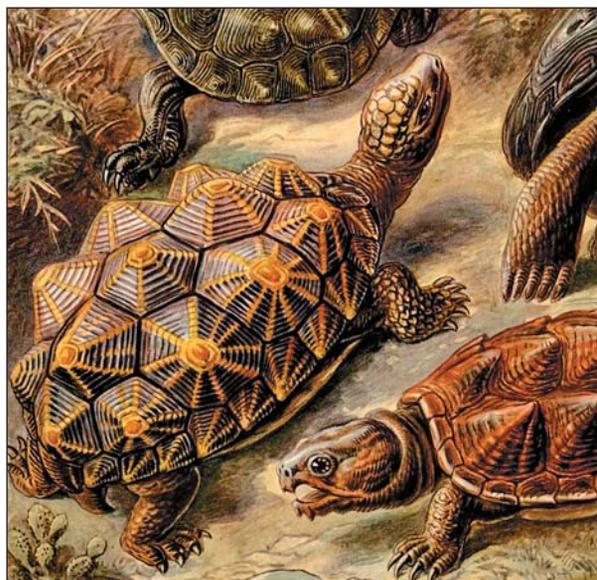
Черепаша. Один из длинных каменных прослоев на пологом берегу острова представляет собой фигурный выступ, средняя часть которого расширена и напоминает черепаху. Прослой ориентирован в направлении север—юг. Общая длина каменной рептилии около 0.47 м. Отчетливо различаются голова в форме слегка вытянутого овала, длинная шея и панцирь, обрамленный снизу характерными щитками. Длина карапакса (верхней части панциря) 0.25 м, что вполне соответствует реалиям — современные черепахи значительно меньше своих ископаемых предшественниц, лишь у немногих длина панциря превышает 0.3 м. Создается впечатление, что черепаха ползет к реке. При низком уровне воды в реке фигура располагается в 1.5—2 м от береговой линии. При высоком уровне — вода подходит к ней вплотную с западной стороны, чем объясняется, возможно, то, что один бок панциря частично разрушен.

Изображение черепахи в Беломорье удивительно тем, что, согласно традиционной точке зрения, это животное не обитало здесь даже в период климатического оптимума. Возможно ли иное мнение?

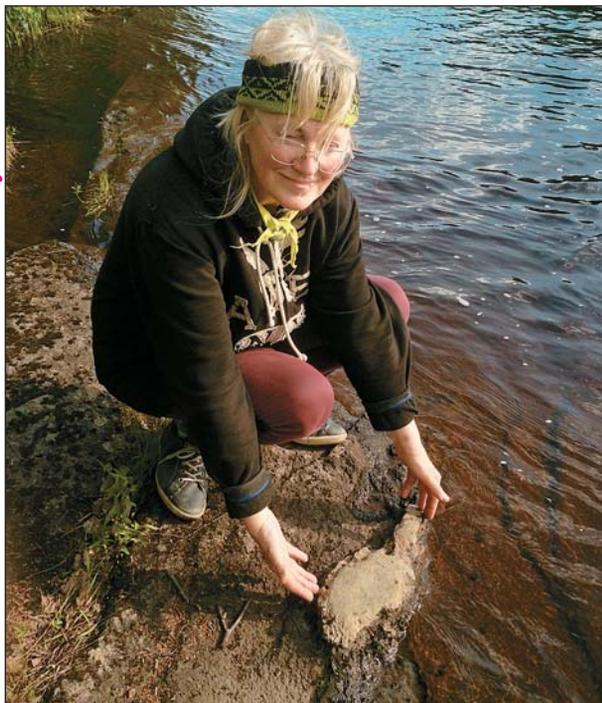
А.Э.Брэм отмечает, что область обитания черепах заканчивается значительно раньше полярного круга, хотя речная (европейская болотная) черепаха проникает дальше всех черепах на север и область ее распространения обширнее, чем у всех ее сородичей*. Он же сообщает о наблюдениях О.Томмазини над этим видом: *Их можно за-*

* Кастере Н. Полвека под землей. М., 1975.

* Брэм А.Э. Жизнь животных. Т.III. М., 1992. С.61



Фигурный камень *Черепаша* (слева) и рисунок черепахи (*Haeckel E. Kunstformen der Natur. Leipzig; Wien, 1904. Taf.89. Fig.5*).

Рядом с фигурным камнем *Черепаха* на Зверином острове.Карапакс *Черепахи*.

моразивать до твердой консистенции, и после оттаивания они снова оживают*.

Целенаправленное изучение фауны и флоры северо-запада России началось в XVIII в., а первый список земноводных и пресмыкающихся был опубликован в 1798 г. [9]. Тем не менее рептилии региона на исходе 2-го тысячелетия все еще оставались слабо изученными. Полный список герпетофауны Северо-Западного региона впервые приведен в кандидатской диссертации К.Д.Мильто (2007 г.) как результат многолетних комплексных исследований.

Территория северо-западной части России была покрыта ледником последнего валдайского оле-

денения, поэтому формирование современной фауны имело вполне определенное начало. Последниковые климатические изменения повлекли за собой изменения почв и растительности. По мнению Мильто**, наибольшее разнообразие герпетофауны пришлось, скорее всего, на атлантический период (7700—4500 лет до н.э.), когда преобладали широколиственные леса, а климат был мягче и теплее, чем в наши дни. Наибольшего распространения, видимо, достигли и виды южного происхождения, в числе которых — европейская болотная черепаха. Суббореальный (4500—2500 лет до н.э.) и субатлантический (2500—1000 лет до н.э.) периоды характеризовались более прохладным климатом и незначительным обеднением фауны земноводных и пресмыкающихся. В настоящее время климатические условия региона, близость северных границ ареалов и антропогенная трансформация мест обитания обусловили невысокую численность многих видов рептилий. В Средней и Северной Европе болотная черепаха исчезла уже в историческое время. На севере ареала встречается спорадически. Этот вид занесен в Красную книгу природы Ленинградской обл.

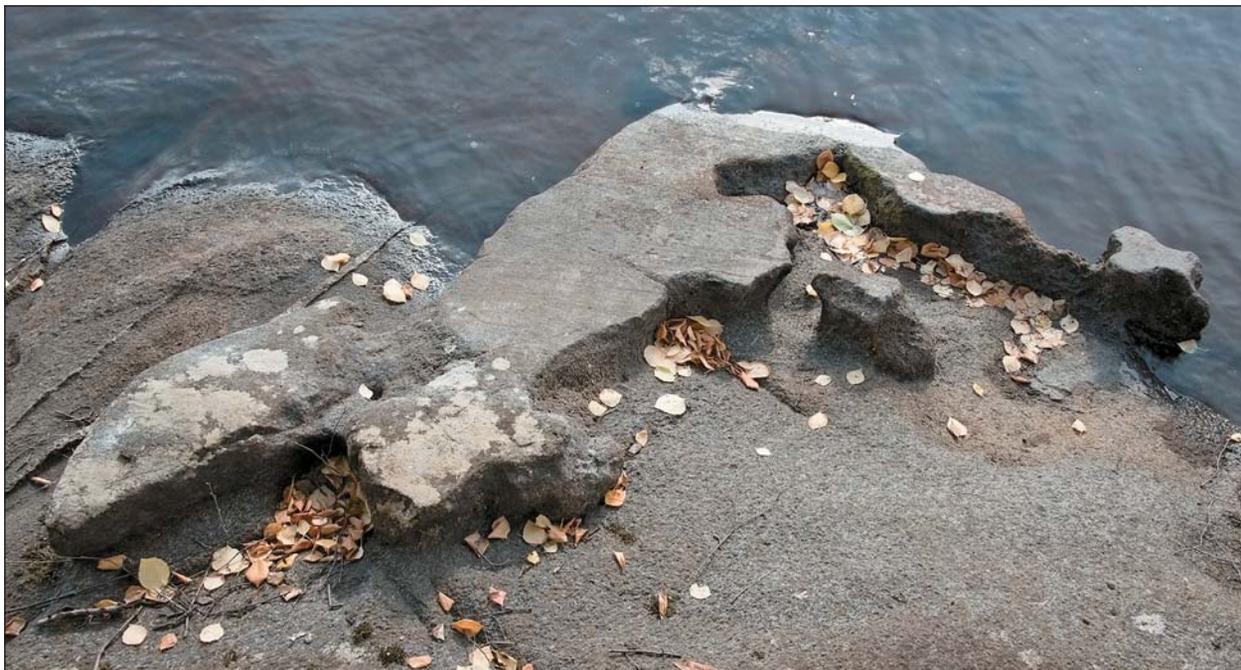
История науки интересна уже тем, что новые исследования зачастую опровергают, казалось бы, неоспоримые результаты прежних. Некогда академик М.А.Мензбир писал: *...нельзя представить себе, чтобы палеолитический человек вздумал селиться у окраины ледника, да еще отступающего, т.е. в условиях, наименее благоприятных для поселения* [10, с.180]. Действительно, традиционная точка зрения долгое время сводилась к представлению, что краевые зоны оледенений были безжизненными. Палеогеографы полагали, что у краев ледниковых покровов не могли обитать крупные млекопитающие, однако исследования последних лет выявили следы охоты первобытных людей на животных мамонтовой группы вдоль южных окончаний евразийского и североамериканского ледниковых покровов [11, с.132]. Не исключено, что и в нашем случае новые исследования прольют свет на некоторые аспекты доисторического прошлого фауны Карелии.

Предположив участие человека в создании зооморфных фигур острова, мы вправе рассмотреть две принципиальные возможности: древний скульптор работал в период 7000—4500 лет до н.э., когда в этих краях могла обитать черепаха, или же мастер пришел позже из пограничных областей, расположенных южнее, и знал, как выглядит рептилия.

Единственное упоминание о возможном изображении черепахи в Карелии мы находим у Равдоникаса, который так интерпретировал один из петроглифов, выбитых на центральной скале

** Мильто К.Д., Аняньева Н.Б. Земноводные и пресмыкающиеся // Красная книга природы Ленинградской области. Т.3: Животные. СПб, 2002. С.325—332.

* Брэм А.Э. Жизнь животных. СПб., 1914. С.518—519.

Фигурный камень *Лось*.

Старой Залавруги: №42 (табл.3). Непонятная фигура, своими очертаниями напоминающая черепаху. Скорее всего, это изображение четвероногого животного в проекции сверху. Длина фигуры 0,22 м [12, с.35].

Лось. У подножия склона лежит фигурный камень, обнаруженный и впервые сфотографированный Ермоевой в июле 2013 г. По ее мнению, это объемное изображение лося (оленя). Действительно, на камне можно различить, слева направо, голову, туловище и слабо выраженные конечности. Форма головы наводит на мысль, что перед нами, скорее всего, лосиха (важенка) или теленок. От туловища отходят два длинных узких каменных прослоя, один из которых наподобие хвоста продолжает линию туловища и уходит в воду, другой располагается перпендикулярно первому и заканчивается крестообразным выступом.

На территории Карелии 5-6 тыс. лет назад, когда большую часть пространства покрывала тайга, лось был широко распространен, о чем свидетельствуют данные палеонтологии и многочисленные изображения животного, выбитые на скальных полотнах. Самые ранние сведения о существовании лесного северного оленя датируются 3000–2500 лет до н.э. Доказательства тому — выбитые на скалах рисунки и находки археологов (костные останки, поделки из костей оленя) [13]. Среди беломорских петроглифов есть аналоги нашей фигуры — на центральной скале Старой Залавруги выбито изображение оленя, задняя нога которого плавно переходит в спираль, а на Бесовых Следках одну из «звезд» (крест) древний художник разместил рядом с фигурой копытного [14, 15].

Прослой, отходящий от *Лося* под воду.Прослой с крестообразным выступом, отходящий от *Лося*.



Голова Лося (слева) и фото головы каймановой ящерицы (TXZeiss' Album «Fort Worth Zoo». Flick.com).

Но фигуру можно интерпретировать не только как лося или оленя. При внимательном рассмотрении камня Ермаевой поражает необычайное сходство головы фигуры с головой ящерицы, а короткие мускулистые лапы и плоские ступни, характерные для большинства ящериц, и длинный хвост подводят нас к кажущемуся маловероятным предположению, что перед нами, может быть, изваяние гигантской ящерицы. Череда зооморфных образов островной галереи, таким образом, пополняется еще одним пресмыкающимся.

Заставляет призадуматься и отходящий от фигуры прослой с крестообразным выступом. Известно, что в результате резкого сокращения мускулов ящерицы способны терять хвост, который вскоре отрастает вновь. Часто он отделяется не полностью, но новый все равно отрастает. Так появляются ящерицы с двумя (и даже более) хвостами. Не такую ли двуххвостую ящерицу вписал неведомый скульптор в рельеф острова?

Важно отметить, что лепестки крестообразного выступа напоминают щитки на голове ужа. На территории современной Карелии уж встречается редко, из змей широко распространены га-

дюки. У них на передней части темени — три маленьких треугольных щитка неправильной формы, у ужей — крупные симметрично расположенные щитки неправильной формы, покрывающие большую часть головы*. Тогда фигурный камень не просто ящерица, а более сложный для интерпретации объект.

Итак, черепаха, ящерица и змея... Не исключено, что на острове существовал некогда культ пресмыкающихся. И, каким бы странным это предположение ни казалось, есть основания и, следовательно, необходимость тщательно его проанализировать.

Наименее восприимчива к низким температурам живородящая ящерица. Ее ареал простирается до Северного Ледовитого океана. Именно этот вид, скорее всего, был знаком первобытному вя-телю. Вместе с тем не исключено, что прообразом послужил вид, ныне уже не обитающий на территории Карелии.

Изображения змей (волнистая линия) также встречаются среди петроглифов Белого моря.

* Ивантер Э.В., Коросов А.В. Земноводные и пресмыкающиеся. Петрозаводск, 2002.



Крестообразный выступ на одном из прослоев, отходящих от Лося (слева), и рисунок щитков на голове ужа (Ивантер Э.В., Коросов А.В. Земноводные и пресмыкающиеся. Петрозаводск, 2002. С.139).

Из полевого блокнота

11 октября 2014 г. Первый снег и первый мороз, а у берегов реки — первый лед. Путешествие на маленькой резиновой лодке стало небезопасным. Остров с каменными зверями нарекли Звериным и, не без сожаления, попрощались с ним до лета.

Остров Шойрукшин

На севере Европы наскальные изображения известны в Швеции, Норвегии, Дании, Финляндии, России. В нашей стране — в Карелии и на Кольском п-ве. Всего зафиксировано около 2000 групп. Главным образом это выбитые или прошлифованные изображения на скалах (петроглифы), реже — рисунки, нанесенные охрой или другими природными красителями (писаницы). Техники нанесения наскальных изображений на разных территориях и в разные исторические периоды отличались.

В Карелии известны два очага древнего наскального искусства. Это восточный берег Онежского озера и юго-западное Беломорье. Первые онежские петроглифы были открыты в 1848 г. К.И.Гревингом. История беломорских петроглифов началась с о.Шойрукшин.

В 7 км от Белого моря, на сложенном розовато-серыми гнейсами о.Шойрукшин, одном из многих на р.Выг, студент-этнограф Ленинградского госуниверситета Александр Линецкий открыл в 1926 г. скопление древних рисунков. Скальное полотно, испещренное продольными и поперечными трещинами, пересекала цепочка изображений босой человеческой ступни. Она вела к большой фаллической фигуре, окруженной множеством других изображений. Среди них морские животные, птицы, лесные звери, загадочные кресты и «звезды» [16].

Вот как описал это открытие А.М.Линецкий в докладной записке от 20 января 1929 г. о своей научно-исследовательской деятельности как члена-сотрудника Ленинградского общества исследователей культуры финно-угорских народностей: *26 год. Был командирован в Карельскую АССР, где пробыл с 1 мая по 27 октября (6 мес.). <...> Тогда же был открыт мною на побережье Белого моря крупнейший (по отзыву финского археолога А.М.Тальгрена) на севере Евразии петроглиф (доисторические наскальные изображения) «Бесовы Следки»**.

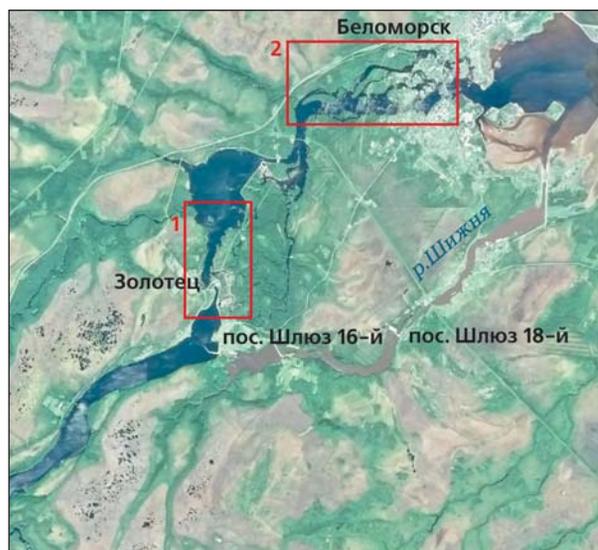
Некогда Шойрукшин был одним из самых больших островов и располагался посреди расширенной части реки около с.Выгостров. Теперь

западный склон Шойрукшина перекрыт дамбой водохранилища, а восточный обращен к руслу водосброса. Святилище, обнаруженное на острове при раскопках А.Я.Брюсова в 1928—1929 гг., а также южная группа изображений, открытая в 1936 г. Равдоникасом, ныне утрачены. Сегодня главная ценность о.Шойрукшин — северная группа изображений, которую как раз и нашел в 1926 г. Линецкий. Над скальным полотном с петроглифами возведен защитный павильон. Скопление петроглифов получило название «Бесовы Следки».

Наскальные изображения были также обнаружены в 1 км к юго-востоку от Бесовых Следков на сложенном серыми гнейсами протерозоя о.Ерпин Пудас (экспедиции Ю.А.Савватеева 1969—1971 гг.) и в 1.5 км ниже по течению реки на о.Большой Малинин на скале Старая Залавруга (экспедиция Равдоникаса 1936 г.) и скале Новая Залавруга (экспедиции Савватеева 1963—1969 гг.).

Гидроэлектростанции, плотины и дороги заметно изменили древний ландшафт, однако сохранилось восторженное описание природы низовьев р.Выга, сделанное Равдоникасом: *Крутые дикие скалы и каменные островки, штурмуемые низвергающимся с белой пеной потоком...* [12, с.9].

Открытие новых грандиозных скоплений наскальных рисунков и древних стоянок, различающихся как по времени возникновения, так и по длительности функционирования, поставило перед археологами задачу восстановления всего комплекса условий, от которых зависело освоение территории человеком, т.е. выяснения периодов колебания уровня Белого моря, гидрологичес-



Схематическая карта нижнего течения р.Выг. Прямоугольниками выделены: 1 — территория, на которой находятся Бесовы Следки (о.Шойрукшин), о.Ерпин Пудас, мелкие островные группы петроглифов и Залавруга, 2 — район, в котором обнаружены фигурные камни, каменная лестница и новые петроглифы.

* Докладная записка члена-сотрудника Ленинградского общества исследователей культуры финно-угорских народностей о своей научной деятельности А.М.Линецкого, 20 января 1929 г. // Национальный архив Республики Карелия. Ф.3262. О.44. Д.736: Хроника работы Линецкого с мая 1926 г. по июль 1949 г.

кого режима р.Выг, изменения растительности и климата. Хотя петроглифические памятники в целом сохранились хорошо, сложность геологической обстановки и отсутствие геохронологической шкалы, на которую можно было бы опереться при палеогеографических реконструкциях, обусловили необходимость специальных геологических работ в регионе.

В 1976 г. увидела свет замечательная работа Э.И.Девятовой [4], в которой на основании результатов спорово-пыльцевого и радиоуглеродного анализа и изучения геолого-морфологических условий были представлены данные о трансгрессивно-регрессивных стадиях Белого моря и прослежена динамика в развитии древних поселений. Позже Т.С.Шелехова и Н.Б.Лаврова исследовали торфяные отложения, что позволило, используя целый арсенал методов, существенно дополнить информацию о динамике и хронологии климата и растительности, миграции береговой линии Белого моря, которые и предопределили заселение территории [17, 18].

Вместе с тем археологическое и геологическое обследование низовьев р.Выг, продолжавшееся в течение многих лет, в основном было привязано к скалам ставших знаменитыми Бесовых Следков, Залавруги, Ерпин Пудаса [4, 13, 17, 18]. На этом участке протяженностью около 2 км исследователи все еще продолжают находить новые петроглифы, в том числе на многократно изученных и задокументированных скальных полотнах — рядом с уже известными фигурами. В 2011 г. в верхней трети центрального полотна Бесовых Следков при копировании на ткань я выявила группу новых изображений, а в 17 м от павильона, на плоской части каменного выступа оригинальной формы, также обнаружила еще несколько новых фигур [2].

И Бесовы Следки, и Залавруга, получившие мировое признание, кажутся неиссякаемым источником больших и маленьких открытий для всех, кто изучает наскальное искусство. Они дали такой объем материала, который завораживал и требовал для изучения полной самоотдачи. Возможно поэтому, в частности, участок реки от вышеупомянутых петроглифических скоплений до впадения р.Выг в Белое море недостаточно или вовсе не был исследован специалистами — геологами, геоморфологами, археологами и др. Не исключено и другое — близость к морю, т.е. малая высота над его уровнем, и, как следствие, кажущаяся бесперспективность поисков.

Шаман-остров

Шаман-остров лежит на 400 м ниже по течению реки от о.Баянно. Скальные обнажения располагаются по периметру и почти сплошь покрыты накипным лишайником. Уклон к урезу воды незначителен. В дни большой воды река отвоевывает

у острова около 0.3—0.4 м береговой кромки. Естественно было бы предположить, что отдельные колонии лишайников, постепенно заполняя скальную поверхность, оставляли затейливые пустоты, похожие очертаниями на фигуры. Но при ближайшем рассмотрении видно, что не только «фигуры», но и некоторые их сочетания (композиции) традиционны для наскального искусства. Если это действительно рукотворные изображения, то, видимо, сделаны они в иной технике (это не выбивка). Возможно, рисунки получены соскабливанием со скалы лишайника (известен аналогичный опыт у канадских индейцев). Лишайник соскабливали так, чтобы освобожденные участки представляли собой фигуры (лось, лодка, морское животное, человек и т.д.). Не исключено, что существовала традиция защиты изображений (протравливание охрой, киноварью). Прошло время, люди покинули территорию, традиция оборвалась. Разного вида лишайники продолжали (с разной скоростью) завоевывать скалу и кое-где частично перекрыли фигуры. Возможно и иное объяснение: контуры фигур процарапали по лишайнику, внутреннюю часть подшлифовали и покрыли природной краской, которая, будучи неблагоприятным субстратом, длительное время не давала расти лишайнику. Нужны специальные исследования лихенологов, чтобы установить какие-либо даты. Предварительно же можно заключить, что минимальное время экспонирования скальной поверхности (отдельных участков) составляет 300—400 лет, в то время как вся поверхность в целом экспонируется не менее 1000 лет.

Из полевого блокнота

10 октября 2014 г. Смеркается. Вода в реке продолжает подниматься. Отправились на остров Баянно. По прямой от Зверино около 300 м. На берегу острова проводники показали каменную лестницу с перилами, ступени которой уходят под воду (структурно-денудационный рельеф со следами ледниковой эскарпации, в которых, скорее всего, прослеживаются признаки деятельности человека). Неподалеку, в 60 м от уреза воды, замечаю в земле четырехугольную впадину $2.8 \times 2.3 \times 2.3 \times 2.0$ глубиной 0.6 м. Площадь ее, таким образом, составляет около 6 м^2 , что, к примеру, вполне соответствует площади минимального размера жилища для одной семьи саамов [19, с.91].

8 июня 2015 г. Исследуем небольшие острова «в пешей доступности» от Зверино. Ищем петроглифы. На одном из них нахожу группу изображений — олень (лось), лодка, белуха. Состав группы, взаимное расположение составляющих ее фигур характерны для древней изобразительной традиции Беломорья.

9 июня 2015 г. У меня остаются сомнения: действительно ли это изображения *handmade* или просто пятна. Скальное полотно острова

почти не имеет уклона. Интересующая нас площадка (60 м²) сплошь покрыта накипным лишайником разного возраста и размера, в несколько слоев. Но свободные от лишайника скальные пятна очень напоминают традиционные фигуры и сюжеты. Вдохновленные парой «шаман» и «четвероногое», нарекли этот остров Шаманом. Однако ни на фольге, ни на ткани мне не удалось получить отпечатки. Более того, «фигуры» не углубляются в скальную поверхность, а, наоборот, являются слегка выпуклыми. То есть, если это *bandmade*, то техника совсем другая. Возможно, рисунки нанесены путем соскабливания лишайника (судя по всему, долгоживущего) со скалы!

Следует ли отсюда, что традиция нанесения изображений на скалы в юго-западном Беломорье не оборвалась, как принято считать, а была продолжена на ближайшем к морю участке, когда море отступило? А.М.Жульников отмечает три основных этапа в наскальном творчестве региона: I — Бесовы Следки и Ерпин Пудас; II — Новая Залавруга, мелкие островные группы и, возможно, северо-восточная часть Старой Залавруги; III — многофигурные композиции центральной скалы Старой Залавруги [20, с.121]. Считалось, что основные скопления петроглифов уже найдены. Открытие Залавруги стало в этом смысле знаковым событием, так как ее изображения полагали наиболее поздними. Э.И.Девятова исследовала те археологические памятники, которые, на ее взгляд, были наиболее информативны: Ерпин Пудас, группу петроглифов и стоянок Бесовы Следки, скопления наскальных изображений и стоянки Залавруги, часть памятников Золотецкой группы. Комплексные исследования показали, что в период 6500—5200 лет назад береговая линия неоднократно перемещалась вследствие сезонных колебаний уровня воды в низовьях р.Выг и различных по длительности трансгрессивно-регрессивных стадий Белого моря. Удалось, в частности, сделать вывод, что первый пласт петроглифов на о.Шойрукшин мог быть создан 5180±60 лет назад, время создания петроглифов на о.Ерпин Пудас (исходя из предположения, что обнаруженное на нем кострище соответствует периоду выбивания рисунков на юго-восточной окраине острова) можно отнести ко времени 4700—4400 лет назад, а скалы Залавруги оказались вне зоны затопления 3600 лет назад [4].

Территория, которую исследовали Шелехова и Лаврова, также охватывает участок, на котором



Каменная лестница на о.Баянно.

находятся скалы Залавруги и Ерпин Пудаса. Изучение торфяной залежи позволило уточнить данные, полученные Девятовой, и сделать вывод, что Залавруга не была покрыта водой уже около 3800 лет назад. Исследованиями зафиксирована новая кратковременная трансгрессия моря 2000—1800 лет назад, после которой, в результате падения уровня моря, русло реки приобрело современные очертания. Отсюда может следовать, что Звериный, Баянно и Шаман-остров в этот период не были затоплены водой.

Местные жители сообщают, что 20 лет назад видели на Шаман-острове или около него, на соседнем, две выбитые фигуры. Никто не придал тогда значения этой находке, никто не сообщил о ней ученым. Могла ли традиция нанесения изображений на скалы быть продолжена здесь, у самого моря, тысячу лет назад? Возможно, есть еще один этап — завершающий, в течение которого сосуществовали или последовательно сменили друг друга две разные техники нанесения рисунков на скальные полотна? Этап, когда изображения стали объемными? Остров Звериный сложен гранито-гнейсовыми метаморфическими породами, а сами фигуры — габбро (основными магматическими породами). Таким образом, основы фигур — это отпрепарированные водой дайки (внедрения магмы по трещинам), имеющие естественное происхождение, это часть рельефа острова. Вместе с тем присутствие на маленьком острове около десятка зооморфных камней, большая часть которых имеет ярко выраженные черты представителей животного мира, заставляет предположить участие че-



Изображения четвероногого животного и антропоморфной фигуры (слева) и лося (оленя) на Шаман-острове.

ловека в их создании (доработке). Возможно и другое — созданные природой каменные звери (выдра, медведь, черепаха и др.) оказали сильное впечатление на людей, промышлявших в давние времена на Выге, и остров стал святилищем.

* * *

Три острова — Шойрукшин, Звериный и Шаман — три грани одного кристалла. Одной загадки. Каково ее место в хронологической канве, начало которой теряется в послеледниковье, когда вслед за стадами северных оленей потянулись на новые земли и первые охотники?

В одиночку или же совместно с человеком природа создала удивительный рельеф? Думается, поспешные заключения или упрямое следование старым постулатам здесь одинаково неуместны. Древнегреческий поэт Феогнид в стихотворении «Милый Зевс! Удивляюсь тебе я...» писал: *Нет, не дало божество ничего непреложного людям, даже пути для того, чтоб угодить божеству.*

Каменные звери в низовьях р.Выг... Что это — древний изобразительный комплекс или невероятная в своей изысканности игра природы? Прекрасно и то, и другое. ■

Литература

1. Геология четвертичных отложений Северо-Запада европейской части СССР. Л., 1967.
2. Успенская М.Б. Петроглифы Белого моря: сказка под замком. М., 2014.
3. Данилов П.И. Охотничьи звери Карелии: экология, ресурсы, управление, охрана. М., 2005.
4. Девятова Э.И. Геология и палинология голоцена и хронология памятников первобытной эпохи в Юго-Западном Беломорье. Л., 1976.
5. Равдоникас В.И. Наскальные изображения Онежского озера и Белого моря. Ч.1. М.; Л., 1936.
6. Bächler E. Das alpine Paläolithikum der Schweiz. Basel, 1940.
7. Вишняцкий Л.Б. Неандертальцы: история несостоявшегося человечества. СПб., 2010.
8. Дэвлет Е.Г. Альтамира: у истоков искусства. М., 2004.
9. Cederhielm J. Fauna Ingricae prodromus. Leipzig, 1798.
10. Мензбир М.А. Очерк истории фауны Европейской части СССР. М., 1934.
11. Гросвальд М.Г. Оледенение Русского Севера и Северо-Востока в эпоху последнего великого похолодания // Материалы гляциологических исследований. М., 2009. Вып.106. С.3—149.
12. Равдоникас В.И. Наскальные изображения Онежского озера и Белого моря. Ч.2. М.; Л., 1938.
13. Савватеев Ю.А., Девятова Э.И., Лийва А.А. Опыт датировки наскальных изображений Белого моря. М., 1978.
14. Савватеев Ю.А. Залавруга. Л., 1970.
15. Савватеев Ю.А. Вечные письма. Петрозаводск, 2007.
16. Линевский А.М. Петроглифы Карелии. Петрозаводск, 1939.
17. Шелехова Т.С., Лаврова Н.Б. Палеоэкологические условия развития юго-западного Беломорья в голоцене // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып.11. Петрозаводск, 2008. С.254—265.
18. Шелехова Т.С., Лаврова Н.Б. Новые данные о миграции береговой линии Белого моря. Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер.: Естественные и технические науки. 2011. №2 (115). С.24—32.
19. Жульников А.М. Древние жилища Карелии. Петрозаводск, 2003.
20. Жульников А.М. Петроглифы Карелии: Образ мира и миры образов. Петрозаводск, 2006.

Культурный импульс профессора Покровского

В.М.Гнездилов,
кандидат биологических наук
Зоологический институт РАН
Санкт-Петербург

Данная публикация посвящена памяти моего прадеда Михаила Михайловича Покровского (1863—1920) — профессора Томского университета, видного патологоанатома и гистолога дореволюционной России, общественного деятеля и путешественника. В 2013 г. минуло 150 лет со дня его рождения, а в 2016 г. исполняется 100 лет с момента выхода из печати его учебника по патологической анатомии «Начала патологии. Общая патология» [1].

Императорский Томский университет (ныне Томский государственный университет) с момента открытия в 1888 г. был крупнейшим образовательным и научным центром Западной Сибири, в котором проводились исследования в различных областях естественных наук, включая медицину [2]. Благодаря деятельности сотрудников кафедры современной отечественной истории университета стали доступны биографические данные профессоров, работавших в этом учреждении с момента его основания. Краткая, но содержательная биография Покровского доступна на сайте электронной энциклопедии университета [3] и опубликована в биографическом словаре университетских профессоров [4]. Мне удалось значительно дополнить эти сведения благодаря материалам Российского государственного военно-исторического архива [5].

Михаил Михайлович родился 27 октября (8 ноября по новому стилю) 1863 г. в семье статского советника Михаила Арсеньевича Покровского (1835(?)—1877(?)) — преподавателя истории и географии 2-й Санкт-Петербургской прогимназии (ныне 7-я гимназия), кавалера орденов Святого Станислава (II степени) и Святой Анны (III степени). Михаил Михайлович был старшим сыном в се-



Михаил Михайлович Покровский. 1904 г.
Здесь и далее фото
из библиотечных фондов*

мье, где кроме него были еще две девочки — Зинаида и Елизавета. Прогимназия располагалась в районе Пески, на улице 5-й Рождественской (сегодня это 5-я Советская улица Центрального района) [6]. Михаил Арсеньевич поступил на должность преподавателя в это учебное заведение вскоре после окончания историко-филологического факультета Императорского Санкт-Петербургского университета (ныне Санкт-Петербургский государственный университет) в 1863 г. с кандидатской степенью, а уже в 1876 г. исполнял обязанности директора прогимназии. Вероятно, в ней же учился и Михаил Михайлович. Известно, что, имея серебряную медаль, он в 1883 г. поступил на первый курс медицинского факультета Императорского Московского университета (ныне Московский госу-

дарственный университет имени М.В.Ломоносова). Однако в июне 1884 г. Михаил Михайлович подал прошение о переводе его на старшее отделение подготовительного курса Военно-медицинской академии Санкт-Петербурга, которую и окончил в 1888 г. со степенью лекаря [7, 8].

К сожалению, мне не удалось обнаружить в документах адреса, по которому семья Покровских проживала в Санкт-Петербурге. Наверняка, как преподаватель прогимназии, Михаил Арсеньевич снимал жилье поблизости от места работы. Единственный адрес, указанный самим Михаилом Михайловичем на прошении о переводе из Москвы в Санкт-Петербург, — село Мурино, дача Михаила Захарова, №1.

Здесь же, в Санкт-Петербурге, в студенческие годы Михаил Михайлович вступил в брак с Ольгой Константиновной Кибиковой (1856—1929(?)).

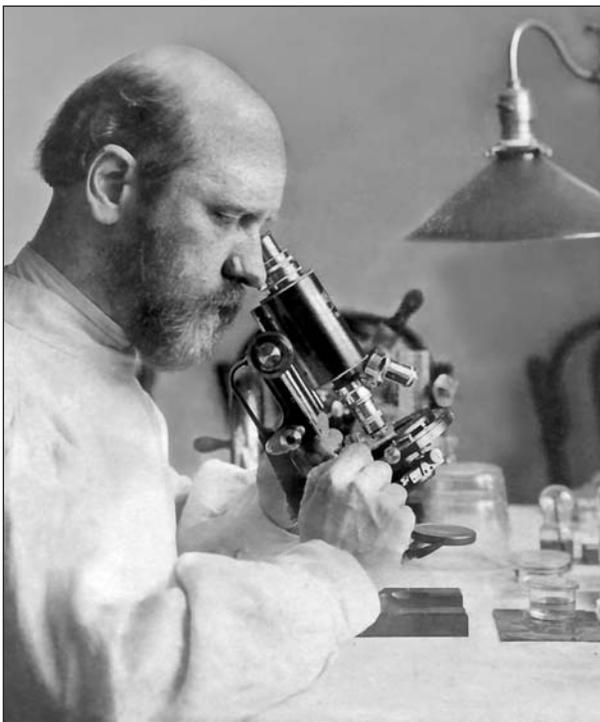
* Библиотека Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. академика И.П.Павлова.



Здание, в котором располагался Анатоми-патологический институт Женского медицинского института. Санкт-Петербург, 1900-е годы. На третьем этаже с начала прошлого века располагается кафедра патологической анатомии.

Они обвенчались в церкви Святого Архистратига Михаила в 1886 г.

После окончания Военно-медицинской академии Покровский уехал в Москву, где более 10 лет проработал в Патолого-анатомическом институте Московского университета, что следует из его



М.М.Покровский за работой.

Из личного архива автора

публикаций того периода. В частности, одна из первых работ Покровского в «Медицинском обозрении» относится к этому времени [9]. Здесь же в Москве в 1897 г. он защитил диссертацию на соискание степени доктора медицины на тему «Упругая ткань и ее изменения при различных заболеваниях легких» и в 1898 г. занял должность приват-доцента. Экземпляр докторской диссертации Покровского, изданной в Москве в виде монографии [10], с его дарственной надписью хранится в библиотеке Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. академика И.П.Павлова (в то время — Женский медицинский институт). Одним из наставников Михаила Михайловича в Московском университете был профессор М.Н.Никифоров (1858—1915) — известный русский патологоанатом и бактериолог, основатель крупной патологоанатомической школы, которого Покровский с большой теплотой упоминает в одной из своих работ [11]. В январе 1902 г. Михаил Михайлович перешел прозектором в Женский медицинский институт Санкт-Петербурга на недавно созданную кафедру патологической анатомии [12], которая и по сию пору находится в историческом здании анатомического корпуса на Петроградской стороне. А место помощника прозектора в Московском университете, которое занимал ранее Покровский, получил будущий академик А.И.Абрикосов (1875—1955), о чем он упоминает в своих биографических записках [13]. Вернувшись в Санкт-Петербург, Михаил Михайлович проработал там следующие шесть лет, в том числе в должности старшего ассистента и приват-доцента (с марта 1906 г.) [14—16]. Благодаря помощи Л.А.Носовой, сотрудника библиотеки Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. академика И.П.Павлова, мне удалось найти фотографии двух выпусков (1903 и 1904 г.) кафедры патологической анатомии, на которых Покровский запечатлен в числе преподавателей.

В 1908 г. начинается томский период деятельности Михаила Михайловича — он был избран и утвержден на заведование кафедрой патологической анатомии Томского медицинского института (ныне Сибирский государственный медицинский университет). С 1908 г. Покровский работал там экстраординарным профессором, а с 1911 г. — ординарным. Михаил Михайлович стал четвертым по счету заведующим кафедрой с момента ее

основания в 1890 г. [17] и находился на этой должности до лета 1919 г. Здесь он читал курс патологической анатомии, а также курс гистологии в 1910—1911 гг., замещая умершего профессора А.Е.Смирнова [18]. Стараниями Покровского кафедра была оснащена микроскопами, проекционными аппаратами, микротомами. Михаил Михайлович передал в ее распоряжение несколько сотен диапозитивов по общей и частной патологической анатомии из собственной коллекции. При нем для музея макропрепаратов были приобретены шкафы-витрины, которые служат до сих пор, создана коллекция рисунков, значительно пополнена библиотека кафедры [19, 20]. Интересно, что незадолго до своей смерти отец Покровского, Михаил Арсеньевич, приказом министра народного просвещения был назначен директором училищ Енисейской губернии с 7 мая 1877 г. Таким образом, он должен был продолжить свою карьеру в Сибири, как позже и его сын, однако осуществить это ему помешала ранняя смерть в возрасте 42 лет.

Михаил Михайлович Покровский — статский советник, удостоенный орденов Святого Станислава III и II степени (1896 и 1917 г.) и Святой Анны III степени (1905 г.), серебряной медали «В память царствования императора Александра III» и светло-бронзовой медали «В память 300-летия царствования дома Романовых» [3, 21]. В самом конце жизни, летом 1919 г., Михаил Михайлович переехал в Нижний Новгород, где занял должность заведующего только что созданной кафедрой общей патологии и патологической анатомии медицинского факультета Нижегородского государственного университета им. Н.И.Лобачевского, став ее первым руководителем. Однако, не проработав и года, 20 мая 1920 г. он умер [3, 19].

Таковы основные вехи биографии профессора Покровского. Видно, что это был человек непоседливый, всегда готовый к новым начинаниям. Я ставлю своей задачей не столько проанализировать значение научного наследия Михаила Михайловича (его публикаций по различным отраслям медицины, до сих пор востребованных: классическая работа о лимфангиомах [11] активно цитируется и по прошествии более чем 100 лет с момента опубликования), сколько показать разносторонность его интересов. Покровский предстанет перед нами как человек своей эпохи и гражданин России или, если угодно, типичный представитель русской профессуры начала XX в.



Третий выпуск Женского медицинского института. 1904 г.

Из библиотечных фондов

К сожалению, в нашем семейном архиве сохранилось не так много документов, но даже те фотографии, книги и оттиски статей Михаила Михайловича, которые пережили бурные годы революции и двух мировых войн, — важные штрихи к портрету этого незаурядного человека. Я не раз сожалел о том, что не записал на магнитофонную пленку беседы с моей бабушкой Анной Григорьевной Покровской (до замужества Иоскевич; 1903—1999) о семье ее мужа и моего деда — Сергея Михайловича Покровского (1895—1951), старшего сына Михаила Михайловича. Профессор Покровский, судя по воспоминаниям моих бабушки и мамы, знавших его по рассказам самого Сергея Михайловича и его младшей сестры Ольги Михайловны (1901—1987), был человеком неординарным.

Так, в семье бытовало представление о Михаиле Михайловиче как о яром русофиле, который даже своих детей всякий раз норовил одеть в национальные костюмы. В заграничной поездке, оказавшись в один из вечеров в опере, Покровский сам предстал перед публикой во фраке, а его дети — в косоворотках и русских платьях. Все зааплодировали им с криками «Vive la Russie!» («Да здравствует Россия!»). Возможно, это случилось на одном из медицинских международных конгрессов, хотя мне не удалось найти упоминаний о заграничных командировках Михаила Михайловича в монографии Л.Б.Ус [22], посвященной международным научным связям профессоров Томского университета. В уже достаточно зрелом возрасте Покровский решил освоить игру на фортепиано и прилежно занимался в свободное от работы время. Михаил Михайлович также издал азбуку, которая выдержала по крайней мере два



М.М.Покровский. Томск.

Здесь и далее фото из личного архива автора

издания [23]. Это вполне могло скомпрометировать профессора в глазах его ученых коллег, а вкупе со вспыльчивым характером — даже снискать ему славу оригинала. Однако издание азбуки вполне укладывается в русло его педагогической деятельности, которую он тем самым справедливо расширил, подключив к ней, помимо университетских студентов, детей дошкольного возраста.

Свои воспитательные методики Покровский прежде всего внедрял в собственной семье. Например, у него было заведено по случаю дня рождения одного из детей дарить подарки им всем, чтобы избежать обид или зависти. Получив какое-либо лакомство, дети должны были поделиться с братьями-сестрами и с родителями (в противном случае наказанием служило лишение прогулки с семьей — так однажды мой дед, Сергей Михайлович, не поехал на Воробьевы горы). В семье Покровского воспитывалось равноправие и взаимоуважение. Его дети до конца своих дней сохраняли друг с другом самые теплые отношения и передали эти традиции и своим детям.

У Михаила Михайловича и его жены Ольги Константиновны было четверо детей, по старшинству — Мария, Сергей, Николай и Ольга. Во время Великой Отечественной войны Мария Михайловна, ставшая педиатром, и Николай Михайлович, получивший профессию хирурга, погибли в блокадном Ленинграде (годы их жизни известны лишь приблизительно — оба родились в 1890-х годах, а погибли в 1941—1944 гг.). Ольга

Михайловна перенесла блокаду, стала карантинным биологом и после войны перебралась к старшему брату Сергею Михайловичу в Краснодар, где я и застал ее уже очень пожилой. Там же обосновалась и дочь Николая Михайловича — Маргарита Николаевна Покровская (1923—1987), которая пошла по стопам отца и тоже стала хирургом. Своего деда Сергея Михайловича Покровского я никогда не видел. В Краснодар они попали с моей бабушкой Анной Григорьевной Иоскевич в 1920-х годах. У них родилось двое детей — мой дядя Владимир Сергеевич Покровский (1924—1989) и моя мама Наталья Сергеевна Гнездилова (до замужества Покровская; род. 1937).

В моей библиотеке сохранились четыре работы Михаила Михайловича — упомянутый учебник «Начала патологии. Общая патология» [1], азбука [23] и оттиски двух статей в «Русском враче» о поездке в Иран [24, 25]. Безусловно, литературное наследие Покровского значительно обширней, но даже эти четыре публикации дают представление о разнообразности интересов этого человека. Он находил время для научной работы, экспедиций, педагогической и общественной деятельности. Согласно исследованию М.В.Грибовского [26], Михаил Михайлович в свое время даже был гласным Томской городской думы, избранным от партии эсеров в 1917 г. За время существования Томской городской думы с 1871 г. гласными становились всего 10 университетских профессоров [26]. В этом качестве они занимались вопросами образования, здравоохранения и благоустройства города.

Самый значительный труд Покровского и, видимо, одна из последних его печатных работ — учебник по общей патологии [1]. Он предназначался для начинающих, поэтому автор стремился излагать материал как можно более понятным и живым языком. Это вторая монография Михаила Михайловича в серии его публикаций по патологической анатомии для начинающих — после «Руководства к вскрытию трупов», выдержавшему два издания [27]. «Начала патологии. Общая патология» объемом 737 страниц организована по классической схеме: введение; основной материал, изложенный в 13 главах, снабженный 250 рисунками; список литературы на 148 страницах, охватывающий более 4 тыс. работ. Примечательно, что все литературные источники, приведенные в книге, — только на русском языке. Среди них 12 работ самого Покровского, опубликованные с 1898 по 1911 г. в таких изданиях, как «Русский врач», «Хирург», «Медицинское обозрение». Другая особенность этого учебника, отмеченная академиком Д.С.Саркисовым [28], состоит в том, что многие иностранные термины Покровский заменил на русские эквиваленты. Например, Саркисов приводит такие лингвистические пары из книги Михаила Михайловича: «железы внутренней секреции» — «замкнутые железы», «гиперемия» — «краснокровие», «эмбола» — «заносная

пробка». По мнению Саркисова, эта русификация утяжелила текст. Однако мне кажется, что Покровский стремился, с одной стороны, облегчить восприятие материала для неподготовленных читателей, а с другой — будучи приверженцем русской культуры, максимально использовать возможности родного языка. Среди рукописей, найденных мной в семейном архиве, есть несколько страниц с авторской правкой, к сожалению, недатированных, но выполненных по правилам дореволюционной орфографии. Почерк не дает полного основания утверждать, что эта рукопись принадлежит Покровскому. Однако по стилю рассуждений о нецелесообразности использования иностранных слов в ущерб русским она как нельзя лучше подходит в качестве иллюстрации взглядов Михаила Михайловича на эту тему: «Народный язык, к удивлению, кажется нам чем-то странным, непривычным для нашего уха. Немалое число простонародных слов совершенно даже для нас не понятны. Попытка употреблять их вызывает улыбку. Больно и обидно становится от подобного зрелища! Вот к чему приводит непомерное увлечение иностранными языками!».

Видимо, чересчур радикальный подход к изложению материала с помощью русифицированной терминологии, а также бурные годы русской истории, последовавшие вскоре, помешали внедрению этого учебника в широкую практику высшей школы. В 1920-х годах Абрикосов переработал и дополнил учебное пособие Никифорова (наставника Покровского), которое стало использоваться в медицинских институтах, а позже создал совершенно новый учебник [13]. Тем не менее историческое значение книги Михаила Михайловича, на мой взгляд, неоспоримо, тем более что он занимал особую педагогическую нишу — писал для начинающих, т.е. стремился дать ключ к самообразованию неподготовленным читателям.

Оригинальная работа Покровского — статья по общим вопросам этиологии заболеваний [29]. Он пытался объяснить проявления тех или иных болезней с точки зрения защитной реакции организма на возбудителя и настаивал на том, что



Семья М.М.Покровского. Санкт-Петербург, ок. 1902 г. Слева направо: жена Ольга Константиновна, младшая дочь Ольга, старший сын Сергей, старшая дочь Мария, Михаил Михайлович и младший сын Николай.

предлагаемое пациенту лечение должно быть направлено на борьбу с причиной заболевания, а не с его проявлениями (которые, напротив, могут способствовать если не выздоровлению, то хотя бы поддержанию стабильного течения болезни). Другими словами, он считал недомогание естественным состоянием организма и привел в статье много примеров, когда «решительно невозможно сказать, где кончается здоровье и начинается болезнь» [29]. Забавно, что журнальная, точнее газетная («Русский врач» — еженедельная газета), статья на шесть страниц сопровождается списком литературы из 103 пунктов.

Поездка в Иран — одно из проявлений мятущейся натуры Покровского. В двух статьях о своей работе в Мешхеде (провинция Хорасан-Резави на северо-востоке Ирана) [24, 25] Михаил Михайлович сделал интересные этнографические наблюде-

ния, часто критически оценивая увиденное. Так, например, он метко подметил ненадлежащее качество дорог в Северном Иране, явно намекая на воровство казенных средств. К сожалению, в статьях не указано время этой поездки. Возможно, она состоялась в Санкт-Петербургский период деятельности Покровского. Путь в Мешхед пролегал из Ашхабада через Кучан («Дорога шоссейная... половину пути (до Кучана) идет по горам... <...> ...Во многих местах она размыта стекающей с гор водою...»), ночевали в караван-сараях, где приходилось устраиваться прямо на полу («Пол в комнатах каменный или глинобитный... <...> Обстановка в комнатах совсем отсутствует. <...> ...Для постояльцев со средствами имеются только в запасе ковры») [24].

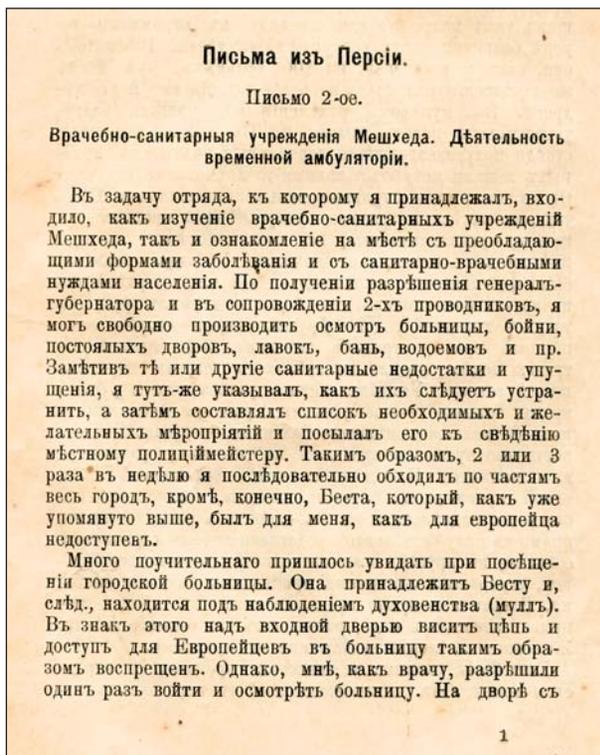
Михаил Михайлович записал много интересного об общественных заведениях Мешхеда и традициях местного населения, которые, безусловно, отражали традиции мусульманского общества того времени в целом. Покровский с вращенной тщательностью и непредвзятостью описал уличную инфраструктуру города, базары, систему канализации, общественные бани, гимнастические залы, аптеки, тюрьмы, кладбища. Он рассказывает, как ему самому приходилось лечить персов, подвергшихся жестоким телесным наказаниям за мелкие кражи. Михаил Михайлович пишет о неухоженности городской больницы и отсутствии квалифицированных врачей, не преминув подчеркнуть, что жители Мешхеда больше доверяют

амбулатории при русском консульстве, нежели лучше оборудованной — при британском. (Однако так ли уж хорошо обстояло дело с лечебными заведениями в самой России и тогда, и значительно позже?) Наблюдения Покровского не лишены и сдержанного врачебного юмора.

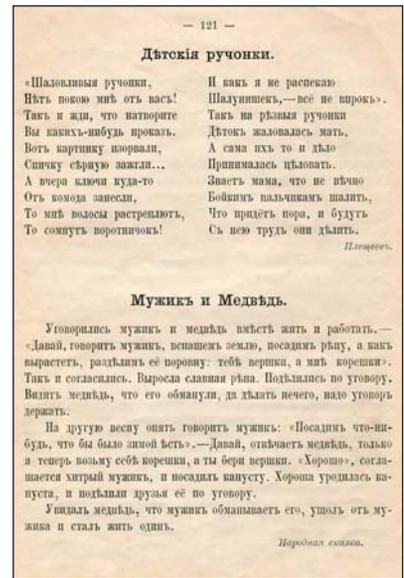
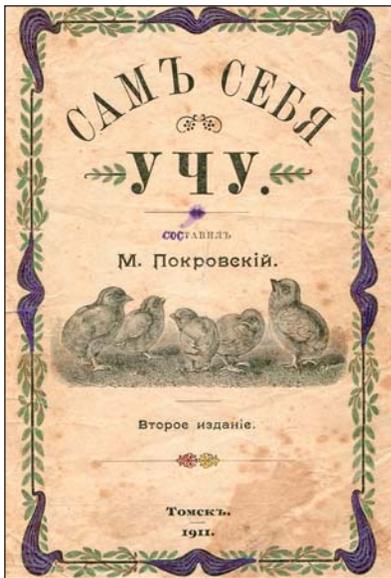
В задачу отряда, к которому принадлежал Михаил Михайлович, входило «как изучение врачебно-санитарных учреждений Мешхеда, так и ознакомление на месте с преобладающими формами заболеваний и с санитарно-врачебными нуждами населения» [25]. В амбулатории, организованной при русско-персидском учетном банке, который вместе с российским консульством располагался на территории с большим (7 га) садом, предоставленной России иранским правительством, Покровский вел прием больных. За три летних месяца, проведенных там, он вместе с коллегами принял и проконсультировал 3688 человек! В целом, по материалам иранских историков, русские врачи оказывали медицинскую помощь в Мешхеде с 1889 по 1945 г. [30].

В конце второго персидского письма Михаил Михайлович проявляет себя и как политический деятель. Он призывает российские власти обратить внимание на Иран как на страну, находящуюся в сфере влияния России, и поторопиться с его усилением (вероятно, имея в виду интересы Британской империи в этом регионе). Покровский пишет: «Сами же персы обладают всеми необходимыми данными, чтобы сделаться просвещенным народом. Огромную пользу в деле просвещения Персии могла бы оказать Россия... <...> Пробуждение Персии началось, и если Россия будет продолжать медлить, то просвещением Персии займутся другие, более предприимчивые народы...» [25]. Особенную роль в деле просвещения народных масс Покровский справедливо отводит врачу: «Нет надобности доказывать ту неоспоримую истину, что влияние врача на общество громадно... <...> Он имеет в своем распоряжении все необходимые средства для вполне успешной просветительской деятельности. <...> Положение русского врача в Персии особенно благоприятно, так как здешние жители привыкли уже с глубоким почтением относиться к русскому имени...» [25].

Возвращаясь к педагогической деятельности Михаила Михайловича, нужно отдельно упомянуть его азбуку «Сам себя учу» [23], которая логически открывает ряд его публикаций для самообразования, продолжившийся руководством по вскрытию трупов [27] и завершившийся трудом по общей патологии [1]. На самодельной бумажной обложке семейного экземпляра этой книги рукой моей бабушки было написано «Букварь Михаила Михайловича Покровского», а на печатной обложке заметны следы детских упражнений в рисовании. Книга хорошо иллюстрирована, причем автор использовал для этого и фотографии своих детей. В азбуке приведены стихотво-



Второе персидское письмо, отпечаток статьи 1908 г. из газеты «Русский врач».



Обложка азбуки «Сам себя учу» и страницы с алфавитом, стихами и прозой.

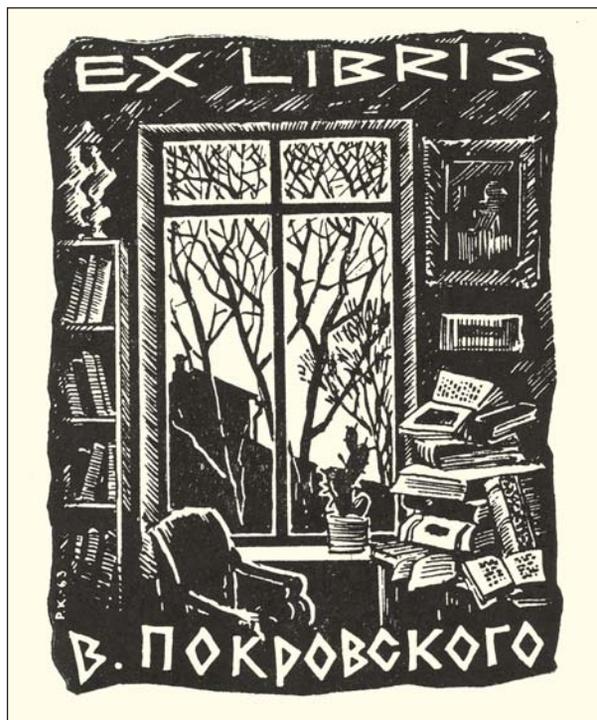
рения и отрывки из прозаических произведений Л.Н.Толстого, А.К.Толстого, А.С.Пушкина, И.А.Крылова, А.Н.Плещеева, П.А.Вяземского, И.С.Никитина, И.И.Дмитриева, В.А.Жуковского, Н.А.Некрасова, И.И.Хемницера, Я.П.Полонского, Э.И.Губера, В.И.Немировича-Данченко, И.М.Вдовина, П.Ж.Беранже. Также приведены народные песни, сказки и поговорки, загадки. Например, от моей бабушки по отцовской линии Александры Николаевны Гнездиловой (до замужества Лопатиной; 1916—2004), дочери зажиточного крестьянина, владевшего мельницей, я знаю такую народную поговорку: «Тит! Иди молотить. — Брюхо болит. — Тит! Иди кашу есть. — А где моя большая ложка?». От Александры Николаевны я заимствовал многие колоритные обороты русской народной речи донских казаков, что несколько не помешало мне говорить литературным языком, принятым в семье, а, напротив, обогатило мой лексикон. Именно такого комплексного подхода к образованию дошкольников, когда им уже с раннего возраста предлагают окунуться в хорошую поэзию и выверенную многими поколениями народную мудрость, не хватает сейчас. Я уверен, что мой сын с удовольствием изучал бы книгу своего прапрадеда и в наши дни, будь она переиздана и дополнена цветными иллюстрациями.



С.М.Покровскій — студент 2-го курса Томского университета. Томск, 19 апреля 1915 г.

Все дети Покровского получили хорошее образование, несмотря на Первую мировую войну и последовавшую революцию. Мой дед, Сергей Михайлович, окончил Томский университет, стал врачом и большую часть жизни проработал в Кубанском медицинском институте (ныне Кубанский государственный медицинский университет) ассистентом на кафедре патологической анатомии. Долгое время он также был краевым патологоанатомом, выезжая в частые командировки по Краснодарскому краю. На время оккупации Краснодара фашистскими войсками с августа 1942 г. по февраль 1943 г. [31] медицинский институт был эвакуирован сначала в Ереван, а затем в Тюмень. В тот трудный военный период Сергей Михайлович принимал самое активное участие в учебной и организационной работе института, заведовал кафедрой патологической анатомии с 1941 по 1947 г. [32]. Он был бескорыстным и отзывчивым человеком, снискавшим уважение коллег и студентов. Подготовив диссертацию, Сергей Михайлович так и не успел ее защитить, уйдя из жизни в 1951 г.

Не только дети, но и внуки Покровского продолжили культурные традиции семьи. Мой дядя, Владимир Сергеевич, стал психиатром, а в душе оставался художником и страстным коллекционером. В свое время он был обладателем крупнейшей в Краснодаре частной библиоте-



В.С.Покровский (Краснодар, май 1955 г.) и его личный экслибрис (художник Р.В.Копылов, 1963 г.).

ки и одним из видных коллекционеров экслибрисов (книжных знаков, удостоверяющих владельцев книг). В 1964 г. Владимир Сергеевич организовал в стенах Краснодарского краевого художественного музея первую выставку экслибрисов на Северном Кавказе [33]. Его личные экземпляры выполнены известными советскими графиками Е.Н.Голяховским, Р.В.Копыловым, Н.Г.Стрижаком и др. Именно моему дяде я обязан своим решением стать биологом, которое встретило горячую поддержку моих родителей, а также своей радостью от чтения книг Э.Ле Мульта, Ж.А.Фабра, Н.Тинбергена и Д.Даррелла. В памяти сохранилось одно из семейных новогодних торжеств, когда мне, школьнику средних классов, Владимир Сергеевич подарил шеститомник Ч.Дарвина под редакцией В.В.Битнера, выпущенный Санкт-Петербургским издательством «Вестник знания» в 1909–1913 гг. До сих пор это одни из самых ценных книг в моей библиотеке. Моя мама, Наталья Сергеевна Гнездилова, — переводчик, специалист по английскому языку и тоже страстный библиофил.

Занимаясь историей семьи Покровских, я сделал для себя неожиданное открытие. Возможно,

своим интересом к биологии и вообще к обучению я обязан также и моему прапрадеду Михаилу Арсеньевичу, который, будучи сыном священника, первым в семье получил университетское образование более 150 лет назад, задав вектор культурного развития пяти поколениям. С раннего детства я слушал истории о Михаиле Михайловиче, однако только недавно прочел его персидские письма — и это оказалось как нельзя кстати. Профессионально занимаясь энтомологией, я обрабатывал в том числе и материалы известного чешского энтомолога И.Длаболы (J.Dlabola). Он много ездил по Ирану и фактически открыл фауну цикадовых (Hemiptera, Auchenorrhyncha) этого региона. Один из описанных им видов из семейства Issidae был назван *Cavatorium sarbaz* [34]. Поначалу я не придавал значения этому названию, не стал разбираться с его этимологией, но персидские письма Михаила Михайловича Покровского подсказали: сарбаз — караульный солдат в Персии. Вот так установилась осязаемая связь между прадедом врачом и правнуком энтомологом. Значит, культурный импульс профессора Покровского себя еще не исчерпал...■

Я искренне признателен Л.А.Носовой (Фундаментальная библиотека Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. академика И.П.Павлова), М.В.Грибовскому (Томский государственный университет), М.А.Гнездиловой (Санкт-Петербург), Ф.Мозаффарян (F.Mozaffarian; Иранский институт защиты растений, Тегеран), Т.И.Пашковой (Российский государственный педагогический университет им. А.И.Герцена, Санкт-Петербург), С.М.Пульккинен и Т.М.Косминой (Библиотека Академии наук, Санкт-Петербург) за помощь с литературой и предоставленные сведения, а также В.В.Нейморовцу (Санкт-Петербург) за помощь в подготовке фотографий к публикации.

Литература

1. *Покровский М.М.* Начала патологии. Общая патология. Томск, 1916.
2. *Некрылов С.А.* Томский университет — первый научный центр в азиатской части России (середина 1870-х гг.—1919 г.): автореф. дис. ... докт. ист. наук. Томск, 2009.
3. Электронная энциклопедия Томского государственного университета. Режим доступа: <http://wiki.tsu.ru/wiki/index.php/>
4. *Фоминых С.Ф., Некрылов С.А. и др.* Профессора медицинского факультета Императорского (государственного) Томского университета — Томского медицинского института — Сибирского государственного медицинского университета (1878—2013): Биогр. словарь. В 2 т. 2-е изд., испр. и доп. Томск, 2014.
5. Российский государственный военно-исторический архив. Ф.316. Оп.64. Д.1215.
6. *Кусов Н.А.* Двадцатипятилетие С.-Петербургской седьмой гимназии (бывшей Второй прогимназии). 1867—1892. Ист. записка, сост. по поручению Пед. совета преп. Н.А.Кусовым. СПб., 1893.
7. История Императорской Военно-медицинской (бывшей Медико-хирургической) академии за сто лет. 1798—1898 / под ред. проф. Ивановского. СПб., 1898.
8. Российский медицинский список, изданный Управлением главного врачебного инспектора Министерства Внутренних Дел на 1910 год. СПб., 1910.
9. *Покровский М.М.* Об окраске упругих волокон в легком // Медицинское обозрение. 1894. Т.42. №13. С.67—70.
10. *Покровский М.М.* Упругая ткань и ее изменения при различных заболеваниях легких: рассуждения на степ. д-ра медицины. М., 1897.
11. *Покровский М.М.* О лимфангиомах // Хирургия. 1898. Т.4. №23. С.409—481.
12. *Шор Г.В.* Кафедра патологической анатомии // 50 лет Первого Ленинградского медицинского института им. академика И.П.Павлова: сб. статей / отв. ред. Н.И.Озерецкий. Л., 1947. С.172—184.
13. *Абрикосов А.И.* 40 лет // Природа. 2015. №10. С.70—79.
14. Отчет о состоянии и деятельности С.-Петербургского женского медицинского института за 1907—1908 учебный год. СПб., 1910.
15. *Покровский М.М.* О злокачественной эпителиоме ворсинчатой оболочки. СПб., 1903.
16. *Покровский М.М.* О новообразованиях мозга и мозговых оболочек // Хирургия. 1907. Т.22. С.385—420.
17. История кафедры патологической анатомии Сибирского государственного медицинского университета. Режим доступа: www.ssmu.ru/ru/obrazovanie/napravleniya_podgotovki/visshee_obr/fakulteti/lf/patanat/history/
18. *Хлопков А.М.* Кафедра гистологии и эмбриологии // Труды Томского государственного медицинского института. 1938. Т.9. С.20—28.
19. *Миролюбов В.П.* Кафедра патологической анатомии // Труды Томского государственного медицинского института. 1938. Т.9. С.70—85.
20. *Ордина О.М., Борисова Г.В. и др.* Кафедра патологической анатомии Сибирского государственного медицинского университета. И.В.Торопцев (1907—1985). К 95-летию со дня рождения // Бюллетень сибирской медицины. 2002. №4. С.10—12.
21. Центральный государственный исторический архив Санкт-Петербурга. Ф.436. Д.14690.
22. *Ус Л.Б.* Международные научные связи Сибири (конец XIX — начало XX в.). Новосибирск, 2005.
23. *Покровский М.* Сам себя учу. 2-е изд. Томск, 1911а.
24. *Покровский М.* Письма из Персии. Письмо 1-е. Дорога от Асхабада до Мешхеда. Мешхедь, его водоснабжение, бани, базары, отхожия места и тюрьмы // Русский врач. 1908а. №24. С.1—13.
25. *Покровский М.* Письма из Персии. Письмо 2-е. Врачебно-санитарные учреждения Мешхеда. Деятельность временной амбулатории // Русский врач. 1908б. №25. С.1—12.
26. *Грибовский М.В.* Профессора Томского университета — гласные городской думы (конец XIX — начало XX в.) // Вестник Томского государственного университета. История. 2014. №2(28). С.18—23.
27. *Покровский М.М.* Руководство к вскрытию трупов: Для начинающих. М., 1901; 2-е изд. Томск, 1910.
28. *Саркисов Д.С.* Очерки истории общей патологии. М., 1988.
29. *Покровский М.М.* Что представляют собой болезненные явления? // Русский врач. 1911б. Т.10. №51. С.1937—1943.
30. *Motavalli Haghighi Y., Azari Kbakestar Gb.* Study on Russian performance in the health services in Mashhad (1889—1945) // Quaternary J. of Med. History. 2014. V.18. P.123—149. (In Persian).
31. Сведения об оккупации районов Краснодарского края. Режим доступа: http://kubpoisk.ru/istoriku_kraevedu/svedeniia_ob_okkupacii_raionov_krasnodarskogo_kraia/
32. Кубанский государственный медицинский университет. Режим доступа: <http://ksma.ru/kafedry/patanatomija/>
33. *Ивенский С.Г.* Книжный знак. История, теория, практика художественного развития. М., 1980.
34. *Dlabola J.* Tribus-Einteilung, neue Gattungen und Arten der Subf. Issinae in der eremischen Zone (Homoptera, Auchenorrhyncha) // Acta Mus. Nat. Pragae. 1980b. V.36. №4. С.173—247.

Почему Петр I собирал уродов?

А.Б.Радзюн, М.В.Хартанович

*Музей антропологии и этнографии им.Петра Великого (Кунсткамера) РАН
Санкт-Петербург*

Музей антропологии и этнографии им.Петра Великого Российской академии наук (МАЭ РАН) — наследник и преемник первого российского государственного музея. Кунсткамера была основана Петром I в 1714 г. Из ее собраний в современном музее сохраняются коллекции, отражающие историю комплексного научного изучения человека: как его биологической истории (анатомические, антропологические), так и духовной и материальной культуры (археологические, этнографические). Исторические анатомические коллекции — собрание голландского анатома Фредерика Рюйша (1638—1731) с частью препаратов, имеющих анатомические отклонения от нормы, и российская коллекция препаратов человека и животных с врожденными пороками развития — по сей день порождают интерес широкой аудитории и противоречивые мнения.

Нередко слышится вопрос: «Зачем Петр I собирал монстров?». Попытаемся рассмотреть мировоззренческую среду, в которой родилась вроде бы непонятная затея, воспринимаемая нашими современниками нередко просто как «музей монстров».

Такое превратное впечатление подпитывается обрывочными сведениями о том, что царь издал указ о собирании диковинок. Что же на самом деле повелел Петр I? 13 февраля 1718 г. были изданы именные указы «О приносе родившихся уродов, также найденных необыкновенных вещей во всех городах к Губернаторам и Комендантам, о даче за принос оных награждения и о штрафе за утайку» и «О порядке выдачи награждений за приносимых уродов»*.

Рассмотрим этот указ внимательно. Большая его часть посвящена сбору существ с анатомическими отклонениями от нормы, рождающихся как у человека, так и у животных. В других странах их давно собирали и показывали публике как диковинки. В указе сказано, что в таком большом государстве как Россия, верно, рождалось немало таких существ, но невежды их утаивали, думая, что они родятся от козней дьявола, из-за порчи,

ведовства. Столь подробное разъяснение отношения к монстрам обычно и приводило к заблуждению, что на этом указ и заканчивается и посвящен он исключительно этим редким существам.

Но, оказывается, собирать надо было не только монстров. В указе сказано: «Также ежели кто найдет в земле, или в воде какие старые вещи, а именно: камня необыкновенные, кости человеческие или скотские, рыбы или птичьи, не такие, какие у нас ныне есть, или и такие, да зело велики или малы перед обыкновенным, также какие старые подписи на камнях, железе или меди, или какое старое



Портрет Петра I. Гравюра Х.А.Вортмана по оригиналу И.Г.Таннауэра, 1714 г. Из фондов МАЭ РАН.

* Полное собрание законов Российской Империи. Т.V. СПб., 1830. С.541—542. Ст.3159, 3160.



Музей антропологии и этнографии им.Петра Великого (Кунсткамера) РАН на Васильевском острове в Санкт-Петербурге.

и ныне необыкновенное ружье, посуду и прочее все, что зело старо и необыкновенно». Таким образом, следовало собирать и передавать государству не только редких и необычных животных и людей с отклонениями в строении тела, но и предметы, относящиеся к областям исследования современных зоологии, палеонтологии, минералогии, археологии, этнографии. Так было положено начало комплексному сбору коллекций как по естественной, так и гражданской истории. Все они выставлялись в Кунсткамере, вошедшей в 1724 г. по указу Петра I в состав Императорской академии наук.

Идея создания открытого для публики собрания, представлявшего как удивительные творения природы, так и искусные произведения мастерства человека, была воспринята царем во время визита в страны Западной Европы в составе Великого посольства в 1697—1698 гг. Петр был первым российским царем, посетившим европейские страны. Наряду с важными дипломатическими задачами, которые должно было решить посольство, молодой царь интересовался и постигал все, что казалось ему полезным и важным.

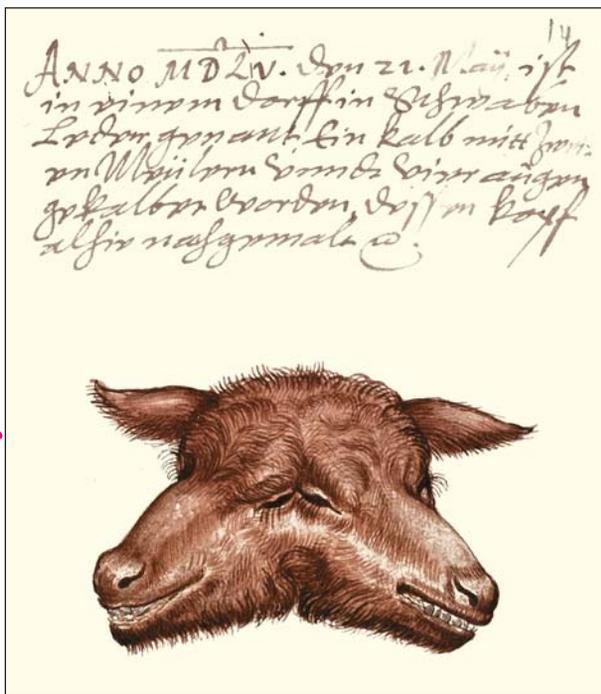
Первоначальное представление о жизни на Западе юный царь получил благодаря западноевропейским гравюрам, «Курантам» — сборникам переводов на русский язык вестей из европейских газет, а также благодаря общению с европейскими врачами, офицерами, мастерами, жившими в Немецкой слободе в Москве.

Можно предположить, что Петр был наслышан о заграничных собраниях редкостей. По всей вероятности, ему было знакомо иллюстрированное собрание известий (издававшееся на немецком языке и на латыни) о необычных природных яв-

лениях и о рождении монстров, датируемое концом XVI — первой четвертью XVII в. (ныне оно хранится в Библиотеке РАН). В библиотеке Аптекарского приказа в Москве можно было найти описание кунсткамеры датского анатома Оле Ворма, привезенное в Россию в 1656 г. Робертом Биньяном, аптекарем царя Алексея Михайловича [2, с.150—151, 248].

Приехав в Европу, Петр I жаждал узнать все не по рассказам, а по собственным впечатлениям. Представим себе чувства и побуждения 25-летнего русского царя, впервые попавшего в Европу, охваченную верой в мощь собственного разума, силу научного осмысления действительности и жаждой знаний о неведомом мире, который предстал перед ней в результате великих географических открытий. Европейцы открывали не только новые материи и острова, но и природу самого человека. Обыватели и вельможи хорошо знали о прозе мертвой плоти, ее гниению и разложении. Но умелые анатомы, создавая искусные препараты, показывали широкой публике удивительную логику и эстетику внутреннего строения человека, пытались описывать закономерности здорового развития и причины, ему мешающие. Изумляла не только анатомическая правильность, но и нарушения ее — изредка рождавшиеся на свет двухголовые младенцы и такие же детеныши животных. Эти редкие и необычные создания природы изучались и описывались учеными, которые пытались найти объяснения появлению уродливых существ.

В Европе Петр I увидел многочисленные галереи, кабинеты и кунсткамеры, хозяева которых собирали разные объекты природы и искусства,



Теленок с удвоением головы, родившийся в 1554 г. Рисунок из иллюстрированного собрания известий о необычных природных явлениях и о рождении монстров (название книги и автор не указаны), датируемого концом XVI — первой четвертью XVII в. (Библиотека РАН. Шифр О №179. Л.14).



Составление астрологического прогноза во время родов («De conceptu et Generatione Hominis... operaclarissimi viri Iacobi Rueffi, chirurgic Tigurini... Francfurti ad Maenum», 1587. P.3).

воспроизводящие в своей совокупности весь мир в миниатюре. Венценосные коллекционеры соревновались между собой, стараясь заполучить в свои коллекции не только драгоценные, диковинные, редкие предметы, но и редкостных, необычных людей: карликов и великанов, а также уродливых детенышей животных и скелеты двухголовых младенцев. Мог ли молодой человек, приехавший из страны, где ничего такого не видел, остаться глух и равнодушен к этой всеобщей европейской моде? Конечно, нет.

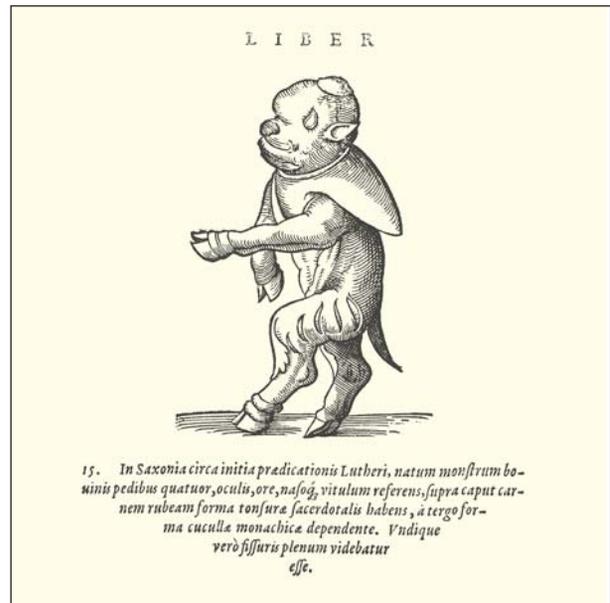
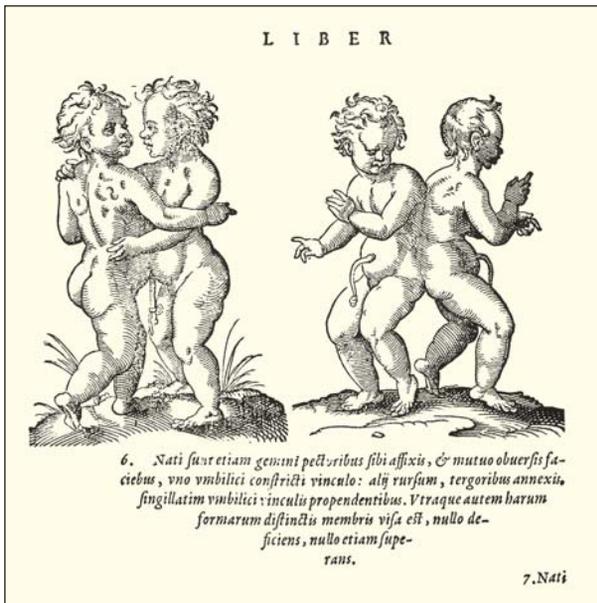
Откуда же в Европе такой давний интерес к монстрам, почему здесь не скрывают их появление на свет, почему, наоборот, о них пишут, делают их зарисовки, заказывают живописные портреты карликов и великанов, демонстрируют в своих коллекциях наряду с диковинными предметами из Старого и Нового Света? Остановимся на основных моментах восприятия этих созданий в странах Европы.

Рождение существ, отличающихся своим анатомическим строением от обычных, издавна вызывало интерес у самых разных людей: и у обывателей, и у носителей знаний. Появление на свет монстров толковали астрологи, описывали и пытались объяснить медики. Пожалуй, самое широкое толкование рождения монстров в те времена относилось к области астрологии, ее пророчеств и предзнаменований.

Письменные свидетельства и толкования появления на свет младенцев с врожденными пороками развития содержатся уже в астрологических клинописных текстах на глиняных табличках, хранившихся в библиотеке ассирийского царя Ашурбанипала (годы правления 669—633 до н.э.) в Ниневии (сегодня это территория Ирака). Среди множества этих табличек найдены две, дающие перечень 62 врожденных уродств, каждое из которых имело свое значение при составлении прогнозов. Халдейские астрологи воспринимали такие уродства как воздействие комбинаций звезд и наряду с другими астрономическими явлениями учитывали их в составлении астрологических предсказаний. К примеру, рождение близнецов, соединенных в области спины, предвещало, что боги покинут страну, а король и его сын оставят город [3, с.6—7].

Практика составления астрологических прогнозов позже распространилась и на другие страны и народы. Само слово «монстр» отразило древнее понимание рождения живого существа с пороками развития как проявление божественного участия. В работах древнеримского политика, оратора, писателя Марка Туллия Цицерона обозначение существа с врожденными пороками развития словом «монстр» непосредственно связывается с демонстрацией воли богов*. Напомним, что в латинском языке monstrum означает знамение, предзнаменование, чудо, чудовище, а также невероятная

* Цицерон. Философские трактаты. М., 1985. С.226.



Двойниковые уродства и «монах-теленк» («De conceptu et Generatione Hominis...». P.41, 44).

вещь, урод*. Само же слово *monstrum* происходит от глагола *monere* — предостерегать**.

Христианская культура, воспринявшая богатые традиции Античности, продолжила трактовать рождение монстров как божественное предостережение или наказание за греховное поведение. Их появление на свет воспринималось так же, как появление кометы на небесном своде, наводнение или землетрясение.

XVI и XVII вв. считаются «золотым веком» монстров в Центральной и Западной Европе [3, p.11]. Сообщения об их рождении печатались в популярной массовой литературе того времени: памфлетах, листовках, балладах, книгах-сборниках чудес и пророчеств.

Своего рода «двигателем» массового интереса к монстрам были и религиозные конфликты времен Реформации [3, p.23]. Самый яркий и распространенный пример — опубликованный в 1523 г. памфлет Мартина Лютера и Филиппа Меланхтона — деятелей Реформации в Германии. В нем растолковывалось появление «двух ужасающих фигур: папского осла из Рима и монаха-теленка из Фрайбурга, найденного в Мейсене». Памфлет содержит две гравюры монстров: на первой изображен «папский осел», выловленный в Тибре в Риме в 1496 г., на второй — «монах-теленк», родившийся неподалеку от Фрайбурга. Оба монстра были представлены как знаки божьего гнева на папство, как обличители пороков римской церкви и знамение скорого падения папства [4, p.13].

Но в монстрах видели и знаки умиротворения войн и распрей. Французский философ-гуманист

Мишель де Монтень (1533—1592) в раздумьях о человеке в эссе «Опыты» обращается к встрече с уродливым годовалым ребенком, чьи родственники собирали подаяние. В области грудной клетки этот бедолага был соединен с безголовым ребенком, который как бы стремился обнять своего брата***. Монтень, вслед за пророчествами древних мудрецов, предполагал, что «это двойное тело, имевшее отдельные члены и заканчивавшееся одной головой» могло быть для короля Франции Карла IX благоприятным предзнаменованием, сулившем объединение провинций и городов Франции, раздираемых религиозными войнами, под эгидой короля. Монтень не останавливается на толковании пророчества, а размышляет о природе появления на свет необычных существ. Он предполагал, что те, кого принято среди обывателей называть уродами, не являются таковыми для Бога, создающего невероятное многообразие форм. Возможно, «удивляющая нас форма» относится к виду существ, неизвестному человеку. Божественный разум не может порождать ошибки. Человеку не дано понять порядок и соотношение божественных творений****.

*** Встречаются различные степени соединения двойниковых близнецов. В данном случае одна из индивидуальных частей пары значительно отличается по размерам и развитию от другой и становится как бы ее паразитическим придатком. Один из близнецов может быть вполне нормален, а другой сформирован частично. Этот вид уродства обозначается как несимметричные сросшиеся близнецы. У описанного Монтенем паразитического индивидуума отсутствует голова, он меньшего размера и может существовать только за счет другого близнеца.

**** Монтень М. Об одном уродце // Монтень М. Опыты. Т.1. М., 1979. С.632—633.

* Дворецкий И.Х. Латинско-русский словарь. М., 1976. С.647.

** Concise Oxford English Dictionary. Oxford, 2011. P.927.

Каким было отношение натуралистов прежних времен к рождению монстров? Главным авторитетом на протяжении более тысячи лет признавались трактаты Аристотеля (384—322 до н.э.). Одно из направлений его размышлений — вопрос о зародышевом развитии организмов. Задавшись целью проследить подобное развитие, ученый писал: «Если брать яйца из-под наседки ежедневно, начиная со второго дня насиживания, до того момента, когда вылупится цыпленок, и разбивать их, то... можно видеть все, что я описываю, вплоть до возможности сравнивать птицу с человеком». Идея о сходстве путей эмбриогенеза у животных и человека всецело принадлежит именно Аристотелю [5, с.83—84]. Великий естествоиспытатель также хорошо разбирался в образовании уродов и объяснял их по-разному: то задержкой некоторых стадий эмбрионального развития, то условиями питания зародыша, то возвратом к признакам предков.

В эпоху Возрождения первым трудом о монстрах, где была проведена попытка представить их и с точки зрения медицины, стал трактат «Des monsters et prodiges» («О монстрах и чудесах») известного французского хирурга, одного из отцов современной хирургии Амбруаза Паре (1510—1590).

Основная часть его книги посвящена причинам рождения монстров среди людей. Данные собраны автором из разных трудов, в том числе античных, проведена классификация монстров согласно причинам их появления на свет. Среди причин, вызывающих уродства, на первое и второе места автор ставит славу и гнев Господень. За ними следуют причины натуралистического характера: избыток или недостаток семени, его качество, впечатлительность матери, размер утробы и механические воздействия на нее, наследственность или случайные болезни. Завершают список причин махинации попросаек и козни демонов и дьявола [6]. Отметим, что хотя Паре и ставил монстров вне природных явлений, сам факт их классификации и систематизации одним из крупнейших хирургов эпохи Возрождения свидетельствует о начале публичного и популярного обсуждения этих существ с точки зрения медицины и изучения зарождения жизни.

Первой настоящей попыткой системного рассмотрения врожденных пороков развития человека и животных признается трактат «De monstrorum caussis, natura, et differentiis» («Причины, природа и различия монстров») итальянского врача, философа, логика, профессора теоретической медицины Университета Падуи Фортуньо Лицети (1577—1657), опубликованный в 1616 г. Если в работе Паре монстры определялись как существа сверхъестественные, то Лицети считал их существами земного порядка, изумляющими в первую очередь неправильностью формы членов, но рожденными в результате некой заминки в процессах творения. Он приходит к выводам, что монстры появляются тогда, когда природа допускает ошибку, грех же не может быть причиной их рождения. Монстры не могут предсказывать будущее, они удивляют мир только своей редкостью [7, p.49].

Как пример преодоления заблуждений в причинах рождения монстров приведем следующее замечание Лицети в отношении существ, чье появление на свет приписывали соитию человека с животным. Уродливые части их тела, по его мнению, лишь напоминают схожие части тела животных, например сросшиеся пальцы рук или ног напоминают лапки гуся. Поэтому эти создания ошибочно воспринимаются как люди-животные, но по своей природе они — люди [7, p.49].

Работа Лицети показывает переход к рассмотрению естественного происхождения монстров, к поиску и нахождению причин не в сфере влияния небесных сил, а в действиях природы, встречающей в процессе творения препятствия, которые заставляют ее идти в созидании живого существа не по главному, а по второстепенному плану. Такое рассуждение было продолжено английским медиком, физиологом, эмбриологом Уильямом Гарвеем (1578—1657), принявшим решение перейти после изучения кровообращения к рассмотрению проблемы формирования животных. Он начал изучать развитие куриных эмбрионов. Гарвей вынес на обсуждение мысль Аристотеля, что уродливые цыплята появляются из яиц с двумя желтками. Этот факт очень важен, по-



Спиртовой препарат неравномерно развитых близнецов. Санкт-Петербург, конец XVIII — начало XIX в.

Из фондов МАЭ РАН

тому что Гарвей возобновляет забытую на два тысячелетия идею о том, что причины уродств надо искать не в суевериях и надуманных спекуляциях, а в экспериментальных исследованиях, что он сам с успехом и делал. Став в 1631 г. лейб-медиком английского короля Карла I, заядлого охотника, он получил разрешение препарировать убитых на охоте самок благородного оленя. Гарвею удалось месяц за месяцем следить за развитием эмбрионов. Ученый обобщил результаты многолетних исследований, касающихся развития позвоночных и беспозвоночных животных, в своем трактате «О зарождении животных» (1651). Впервые процесс индивидуального развития рассмотрен им с точки зрения эпигенеза — теории о постепенном и последовательном новообразовании органов и частей зародыша — в противовес преобладающей тогда точке зрения преформистов, отрицавших развитие и допускавших лишь рост преобразованного зародыша. Гарвей выступил против теории самопроизвольного зарождения, выдвинув принцип: «Все живое из яйца» [8, с.133].

Размышления о причинах зарождения монстров в результате нарушений эмбриологических процессов стали частью нового философского понимания, частью новых методов, которые позволяли ученым Нового времени получать достоверные знания. Объективное знание боролось со средневековым догматическим, предубежденным сознанием. Авторитет древних был подвергнут сомнению, умозрительная и кабинетно-книжная наука отвергнута с презрением, доказательства следовало искать с помощью логических рассуждений и достоверных фактов [9, р.133].

В XVII в. прагматически ориентированное познание природы перешло от рассуждений на тему «зачем?» к поискам ответов на вопрос «почему?», т.е. к изучению причин природных явлений. Так, известный французский философ и математик Рене Декарт (1596—1650) видел задачу науки в том, чтобы не просто описывать законы природы, но находить причины какого-либо явления [10, с.155]. Критерием истины стала очевидность. Мыслитель предлагал проверять любое знание разумом, отказываясь от суждений принятых на веру.

Избежать заблуждений и неверных заключений в естествознании помогает, по мнению английского мыслителя Фрэнсиса Бэкона (1561—1626), описание как случаев нормального хода некоего явления, так и случаев отклонений от нормы. Это позволило бы выявить признаки и причины, сопровождающие некое явление, либо отсутствующие в нем. Исходя из частных случаев, можно составить общее правило. В работе «Новый Органон, или Истинные указания для истолкования природы», опубликованной в 1620 г., Бэкон предлагал описывать природу по трем направлениям: область обычных явлений; область отклонений; история искусств, т.е. история механики и технических изобретений [10, с.144].

В центре изучения второй области были «уклонения природы, уродства и диковины, когда природа отклоняется и удаляется от своего обычного хода». Исследование отклонений освобождает разум от привычных суждений и сложившихся мнений и показывает общие законы. Отметим, что причину отклонений Бэкон видел не в заранее заданной форме, а в скрытом процессе, приведшем к такой форме. Знание причин отклонений, по его мнению, способствовало бы более тщательному описанию нормального хода природы. Подчеркнем, что Бэкон рекомендовал создать собрание или «частную естественную историю диковин и чудесных порождений природы — словом всякой новизны, редкости и необычности в природе»*, ведь без серии примеров невозможно прийти к достоверному, проверяемому выводу.

Описание явления природы с точки зрения нормы и исключения, предложенное Бэконом, было активно воспринято научными сообществами. Монстры уже не считались неким обособленным, самостоятельным случаем, а служили контрпримером для описания нормы. Например, члены Французской академии наук, основанной в Париже в 1666 г., рассматривали случаи врожденных пороков уже в системе сравнительно-анатомических исследований.

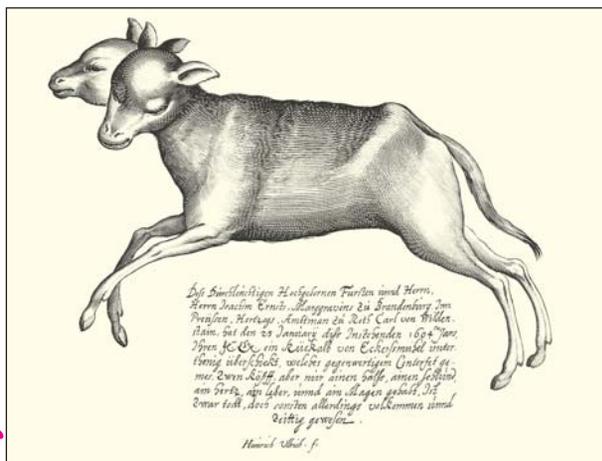
Секретарь этой академии и сторонник сравнительной анатомии Бернар Ле Бовье де Фон-



Детский скелет с двумя головами. Препарат анатома Фр.Рюйша. Амстердам, конец XVII — начало XVIII в.

Из фондов МАЭ РАН

* Бэкон Ф. Сочинения: В 2-х т. Т.2. М., 1972. С.137—138.



Двухголовый олененок, обнаруженный в Пруссии в 1604 г. Рисунок из иллюстрированного собрания известий о необычных природных явлениях и о рождении монстров (Библиотека РАН. Шифр О №179. Л.72).

тенель (1657—1757) считал монстров частью незбылемой природы без неправильностей. Описывая уродливый плод ягненка без головы, грудной клетки, позвоночника, он писал в «Трудах Французской академии наук» в 1703 г.: «Обычно монстры считаются шуткой природы, но философы убеждены, что природа не шутит, что она незбылемо следует правилам, а все ее работы равнозначно серьезны. Среди них могут быть необычные, но не ошибочные; нередко самые необычные дают возможность обнаружить общие правила, вмещающие в себя всех их» [11, р.38].



Тучело двухголового телянка. Санкт-Петербург, конец XVIII — начало XIX в.

Из фондов МАЭ РАН

Вопрос о причинах появления на свет монстров обсуждался как с точки зрения анатомии развития, так и с позиций теософии. Диспуты о том, предобразованы ли Богом уродливые зародыши для демонстрации Божественного могущества и созидательной фантазии или изначально нормальный зародыш стал жертвой случайного повреждения в процессе развития, продолжались еще не одно десятилетие XVIII в.

Ко времени появления в России государственного интереса к сбору редкостей, в том числе и в области анатомии, представления западноевропейских ученых о причинах рождения монстров находились в рамках следующих четырех умозаключений.

Во-первых, монстры, рождающиеся как у человека, так и у животных, это часть природы, а не сверхъестественные явления. Как и всеми природными явлениями, ими руководит воля бога, но отнюдь не дьявольский промысел.

Во-вторых, с одной стороны, рождение монстров может иметь свои природные причины, обусловленные неким сбоем в созидательном акте природы. Но с другой, они могут быть изначально созданы таковыми богом, который проявляет этим свободу и изобретательность творения.

В-третьих, рождение монстров, как и прочие другие редкие природные явления, изучают и классифицируют ученые. Это способствует изучению явлений, относящихся к норме, и дополняет картину мира. Исследование исключений делает наше восприятие острее, очищает его от догм и привычных суждений, мнений, навязываемых авторитетами в своей области.

И в-четвертых, следует составлять коллекции, представляющие редкости природы, накапливать различные случаи необычных творений для выявления правил и законов созидательного процесса природы.

Таким образом, продолжая сложившуюся в зарубежных странах Европы традицию, Петр I принял меры по созданию в России первого естественнонаучного музея, Кунсткамеры, как центра накопления, изучения и популяризации достоверной информации об окружающем природном мире. Как уже было сказано выше, для объективного описания явления следовало учитывать и самые редкие и необычные природные формы.

Какие же редкости видели первые посетители Кунсткамеры, оставившие свои впечатления в мемуарах*? Анатомические препараты, сделанные столь искусно, что выглядели «как живые». Эмбриологические препараты, показывающие все стадии развития зародыша человека, начиная с его первых недель. Препараты мозга, костей, крове-

* См., например: Краткое описание города Петербурга и пребывания в нем польского посольства в 1720 году // Русская старина. 1879. Т.25. С.263—290; Дневник камер-юнкера Ф.В.Берхгольца. 1721—1725 // Неистовый реформатор. М., 2000. С.105—460.

носных сосудов, как бы «наполненных живой кровью». Здесь демонстрировались уродливые младенцы, сохраняемые в спирте, и живые монстры, жившие при Кунсткамере, а также множество редких, экзотических рыб, змей, птиц и животных «в склянках», огромные кости древних слонов (мамонтов), куски янтаря, в том числе с вкраплением насекомых, старинные монеты и медали. Безусловно, первые дорогие и экзотические коллекции были куплены Петром I у зарубежных собирателей, но современники событий уже отмечали влияние царского указа на состав собрания редкостей Кунсткамеры. Член свиты герцога Фридриха Голштинского камер-юнкер Фридрих Вильгельм Берхгольд, побывавший в Петербурге в 1721 г., подчеркивал в дневнике роль царского указа, «повелевающего [отсылать] в Петербург со всего государства все неестественное и неизвестное в каком бы то ни было роде. Губернаторам предписано точно исполнять его под страхом тяжкого наказания. Вот почему здесь набрано такое множество предметов по части естественной истории и самых разнообразных уродов» [12, с.38].

Отвечая на вопрос, почему же столько внимания в царском указе 1718 г. было уделено именно монстрам, представим, что царь желал видеть в России богатые, разнообразные коллекции, служащие основанием для разрешения многих вопросов науки. Рождение младенца с врожденными пороками развития — это нечастое, трагическое

событие, которое особенно не афишировали. Царский же указ и денежное вознаграждение способствовали передаче как аномально развитых, необычных младенцев человека, так и детенышей животных для анатомического изучения и демонстрации в публичном музее, а также для популяризации объективного толкования явлений природы с позиций современного на тот момент научного знания.

Как и анатомы европейских научных обществ, анатомы Петербургской академии наук и Кунсткамеры в XVIII в. тщательно фиксировали, описывали и публиковали свои размышления о случаях уродств. Хотя уже упоминавшийся выше секретарь Французской академии наук Фонтенель и характеризовал историю монстров как нескончаемую и весьма туманную, основатель науки об уродствах — тератологии, французский зоолог Исидор Жоффруа Сент-Илер (1805—1861) дал высокую оценку работам XVIII в., в результате которых возросло понимание важности обследований и было собрано большое количество фактов, сопровождавшихся точным, достоверным описанием [9, p.318].

Таким образом, упомянутый в начале статьи указ Петра I заложил основу сбора и сохранению материала, представляющего разнообразие окружающего мира. Коллекции не только показывались в Кунсткамере, но и служили для исследований и развития научных направлений. ■

Литература

1. Исторический очерк и обзор фондов рукописного отдела Библиотеки Академии наук. XIX—XX века. Вып. II: XIX—XX века. М.; Л., 1958.
2. *Warkany J.* Congenital malformations in the past // *Problems of Birth Defects: From Hippocrates to Thalidomide and After.* Lancaster, 1977. P.5—17.
3. *Bates A.W.* Emblematic monsters: unnatural conceptions and deformed births in early modern Europe. Amsterdam; N.Y., 2005.
4. *Hendrix S.H.* Martin Luther: Visionary Reformer. Yale, 2015.
5. *Лункевич В.В.* От Гераклита до Дарвина. Т.1. М.; Л., 1936.
6. *Pare A.* On Monsters and Marvels. Chicago, 1982.
7. *Bates A.W.* The De Monstrorum of Fortunio Liceti: a landmark of descriptive teratology // *J. of Medical Biography.* 2001. V.9. P.49—54.
8. *Райков Б.Е.* Карл Бэр, его жизнь и труды. М.; Л. 1961.
9. *Roger J.* The Life Science in Eighteenth-Century French Thought. Stanford, 1998.
10. *Гайденко П.П.* История новоевропейской философии в ее связи с наукой. М., 2011.
11. *Daston L.* Preternatural philosophy // *Biographies of Scientific Objects.* Chicago; L., 2000. P.15—41.
12. *Летопись Кунсткамеры. 1714—1836 / Авт.-сост. М.Ф.Хартанович, М.В.Хартанович. Отв. ред. Н.П.Копанева, Ю.К.Чистов. СПб., 2014.*

Золотая медаль имени И.П.Павлова — Л.В.Розенштрауху

Золотой медалью имени И.П.Павлова в 2016 г. награжден академик Леонид Валентинович Розенштраух за цикл работ «Электрофизиологические исследования регуляции сердечного ритма». Эта научная награда Российской академии наук присуждается Отделением физиологических наук за выдающиеся работы в области физиологии высшей нервной деятельности и висцеральных систем.

Золотая медаль имени И.П.Павлова, учрежденная АН СССР в 1949 г. в связи со 100-летием со дня рождения ученого, присуждается за совокупность работ по развитию учения Ивана Петровича Павлова. На соискание медали принимаются только работы, ранее не удостоенные премий — ни государственной, ни именных. Впервые эта награда была вручена в 1950 г. Константину Михайловичу Быкову, ученику Павлова, за успешное, плодотворное развитие наследия его учителя.

Основополагающие работы Павлова в области регуляции сердца со стороны нервной системы предопределили направления, по которым идут поиски механизмов и модальностей реакций сердечно-сосудистой системы в ответ на нервные воздействия. Именно этому (а конкретнее — электрофизиологии сердца и механизмам аритмий) и посвящены многолетние исследования Леонида Валентиновича. В НИИ экспериментальной кардиологии Кардиологического научного центра Розенштраух руководит лабораторией электрофизиологии сердца, где не только занимаются фундаментальной наукой, но и проводят работы по созданию лекарственных антиаритмических препаратов*.

Основное внимание в исследованиях, длящихся с 1967 г., было сосредоточено на клеточных аспектах вегетативного контроля сердца со стороны парасимпатических нервов. В работах использовались такие экспериментальные методы, как одно- и двухканальные микроэлектродные отведения, многоканальное (до 254 электродов) электрическое картирование, оптическое картирование с помощью фотодиодных матриц и видеока-

меры, математическое моделирование, включая моделирование на суперкомпьютерах.

Наиболее впечатляющим результатом стал впервые обнаруженный феномен: в ткани предсердий у лягушки и карпа, а также в клетках синотриального (синусового) узла кролика и мыши при стимуляции ацетилхолином развивалась зона локальной временной невозбудимости**. Ее ионный механизм связан с тем, что ацетилхолин, активируя холинорецепторы, сильно увеличивает выходящие токи, при этом входящие деполяризующие токи не могут развиваться. Возбудимость восстанавливается, когда ослабевает действие ацетилхолина за счет его гидролиза холинэстеразой и, как следствие, снижается внутриклеточная активность G_i-белков.

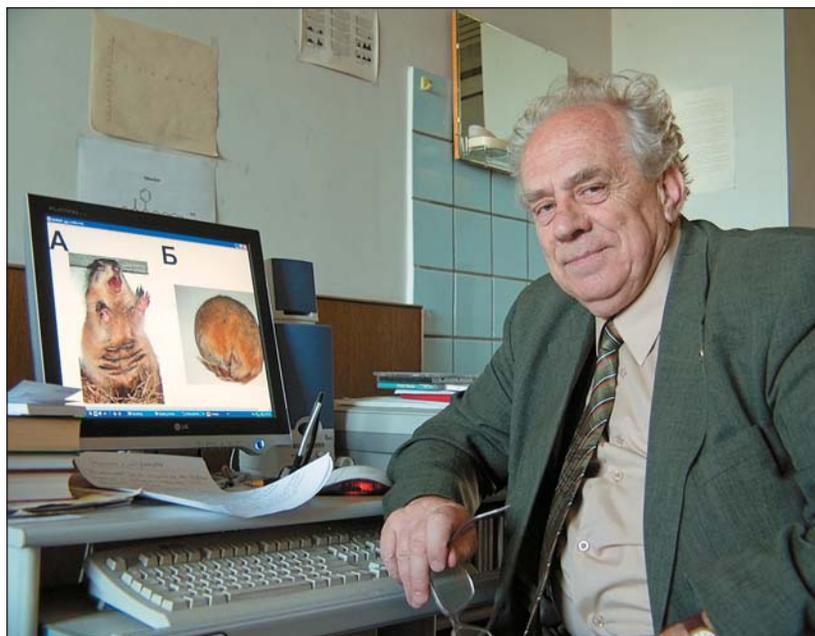
Явление невозбудимости, как полагали исследователи, может играть важную роль в нейрогенной регуляции ритма сердца: определять изменение синусового ритма; служить причиной, которая приводит к развитию аномалий проведения возбуждения, вплоть до мерцательной аритмии; осуществлять нейрогенный контроль активности предсердных клеток в рукавах легочных вен и влиять на отражение возбуждения от легочных вен в предсердия.

В лаборатории Розенштрауха действительно доказано в экспериментах, что невозбудимость может определять изменение синусового ритма. Более того, открыт новый механизм его регуляции. За счет одновременной регистрации активности двух клеток синусового узла на изолированном препарате правого предсердия кролика выявлена локальная невозбудимость в клетках узла в условиях избирательной активации постганглионарных

** Электрофизиологический механизм явления невозбудимости и его роль в развитии аномалий распространения возбуждения воспроизведен на плоской двумерной аксиоматической модели совместно с А.В.Холоповым и на детальной компьютерной модели волокон синотриального узла теплокровных животных в совместном исследовании с Р.А.Алиевым. Экспериментальная демонстрация явления невозбудимости в синусовом узле кролика на изолированном препарате правого предсердия при воздействиях ацетилхолина включена в программу студенческого практикума по физиологии на кафедре физиологии человека и животных биологического факультета МГУ.

* Подробнее см.: *Розенштраух Л.В.* Экспериментальная электрофизиология сердца в создании новых препаратов // *Природа*. 2012. №8. С.10—16.

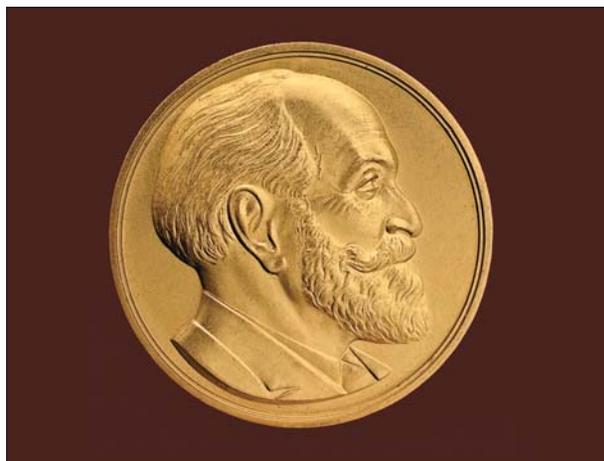
внутрисердечных нервов. Достигалась она с помощью прямого раздражения узловой ткани стимулами длительностью 0.1 мс. Локальная невозбудимость охватывала не весь узел, большая его часть продолжала возбуждаться, но в замедленном ритме. Методом детального оптического картирования исследователям удалось выяснить следующее: если стимуляция постганглионарных внутрисердечных нервов приводила к замедлению ритма синусового узла менее чем на ~20% от исходной величины, то механизм замедления обусловлен хорошо известным снижением скорости диастолической деполяризации в клетках узла. В тех случаях, когда замедление происходило более чем на ~20%, в ткани водителя ритма развивались невозбудимые зоны, вследствие чего он мигрировал в самом узле или за его пределы. Таким образом, при определенных условиях развитие локальной невозбудимости вызывает замедление ритма из-за миграции водителя ритма в другие области пейсмекера или за его границы. Это и есть новый нейрогенный механизм регуляции частоты спонтанного возбуждения пейсмекера. Авторы нового механизма предполагают, что он реализуется в самых различных физиологических условиях. Например, при дыхательной аритмии, каждый дыхательный цикл которой, как известно, обусловлен повышением тонуса парасимпатических нервов. Интервал между циклами синусового узла при такой аритмии может в два и более раз превосходить длительность среднего цикла синусового ритма.



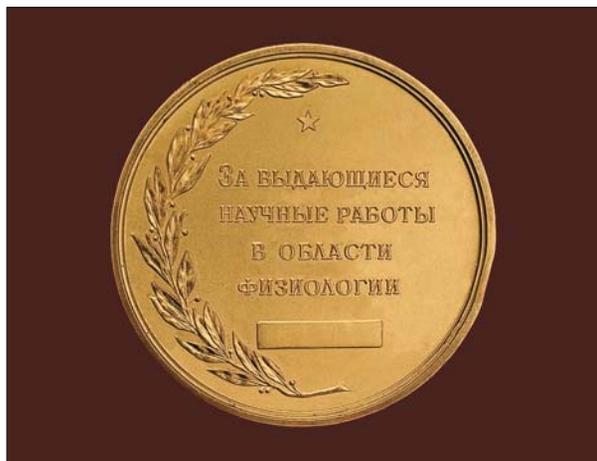
Л.В.Розенштраух. На мониторе изображения одного из объектов исследования — якутского подвида длиннохвостого суслика. Во время зимней спячки у этих животных температура тела опускается до -2°C , при этом у них не возникает никаких сердечных патологий, лишь снижается частота сокращений.

Кратковременное выключение из активности наиболее «быстрых» областей синусового узла при развитии невозбудимости вызывает миграцию водителя в более «медленные» участки пейсмекера. В результате обеспечивается замедление ритма в достаточно широком диапазоне изменений частоты, характерном для дыхательной аритмии.

Невозбудимость как причина, которая приводит к развитию аномалий проведения вплоть до мерцательной аритмии, была выявлена Розенштраухом и сотрудниками в экспериментах на изолированных предсердиях лягушки. Когда экстракардиальные парасимпатические нервы этих



Золотая медаль имени И.П.Павлова.



препаратов подвергали раздражению, резко усиливалась высокочастотная клеточная активность — до 10 Гц. Электрографическая картина активности напоминала пароксизмы мерцательной аритмии. Судя по электрическому картированию, развитие аритмий связано с невозбудимыми, сложной геометрической структуры, областями в предсердиях. При выходе из торможения (благодаря тканевой холинэстеразе) в пределах этих областей образуются «проводящие коридоры», формирующие множественные островки невозбудимости, между которыми проходит волна возбуждения от венозного синуса. Если такая волна движется по границе невозбудимой области, периметр которой равен или больше длины волны, и вся область одновременно выходит из торможения, то возникает замкнутый контур циркуляции возбуждения (re-entry) вокруг отрезка с линейным размером $L = RV/2$ (R — рефрактерный период; V — скорость проведения). Ротация возбуждения может происходить и вокруг «мелких препятствий», суммарный периметр которых равен или больше длины волны. Контур re-entry возникает и исчезает, при этом частота вновь возникшего контура всегда меньше или равна частоте погибшего. Последнее получено экспериментально и доказано теоретически на плоской двумерной математической модели, свойства которой задавались аксиоматически. Результаты исследователей, полученные на амфибиях, помогают понять детали развития re-entry в возбудимых тканях. С помощью экстраполяции этих данных на узловую ткань теплокровного животного легче выявить сложную роль перехода невозбудимости в возбудимое состояние в синусовом узле, когда он вовлечен в нейрогенный аритмогенез.

Влияние невозбудимости на нейрогенный контроль активности предсердных клеток в рукавах легочных вен стали изу-

Наиболее важные публикации по электрофизиологическим аспектам вегетативного контроля ритма сердца:

Розенитраух Л.В., Юрьев С.А., Юшманова-Ракова А.В., Удельнов М.Г. Наблюдения за активностью волокон венозного синуса, предсердий и желудочков при пароксизмах аритмий, возникающих на фоне вагусного торможения // Физиол. журн. СССР им.И.М.Сеченова. 1967. Т.53. №7. С.800—808.

Розенитраух Л.В., Юшманова А.В., Удельнов М.Г. Сопоставление мембранных потенциалов в двух пунктах предсердий при аритмиях нейрогенной природы // Физиол. журн. СССР им.И.М.Сеченова. 1969. Т.55. №1. С.56—62.

Розенитраух Л.В., Холопов А.В., Юшманова А.В. Вагусное торможение — причина образования замкнутых путей проведения возбуждения в предсердиях // Биофизика. 1970. Т.15. Вып.4. С.690—700.

Розенитраух Л.В., Холопов А.В. Активация внутрисердечных нервов, образование зон временной невозбудимости и развитие аритмий при электростимуляции предсердий // Биофизика. 1971. Т.16. Вып.6. С.1064—1073.

Розенитраух Л.В., Холопов А.В., Юшманова А.В. Связь между образованием «проводящих коридоров» в заторможенных вагусом зонах и развитием аритмий // Биофизика. 1972. Т.17. Вып.6. С.1098—1104.

Розенитраух Л.В., Холопов А.В. Роль блуждающих нервов в возникновении и прекращении предсердных тахикардий // Кардиология. 1975. Т.15. №1. С.38—48.

Rosensbtraukh L.V., Zaitsev A.V., Fast V.G., Pertsov A.M., Krinsky V.I. Vagally induced block and delayed conduction as a mechanism for circus movement tachycardia in frog atria // Circulation Res. 1989. V.64. P.80—85. Doi:10.1161/01.RES.64.2.213.

Rosensbtraukh L.V., Zaitsev A.V. Atrial tachycardias — a new look // News in Physiological Sciences. 1990. V.5. P.187—190.

Schuessler R.B., Rosensbtraukh L.V., Boineau J.P., Bromberg B.I., Cox J.L. Spontaneous tachyarrhythmias after cholinergic suppression in isolated perfusion canine right atrium // Circulation Res. 1991. V.69. P.1075—1087.

Rosensbtraukh L.V., Danilo P.Y., Anyukbovsky E.P., Steinberg S., Rybin V.I., Rosen M.R. Mechanisms for vagal modulation of ventricular repolarization and of coronary occlusion-induced arrhythmias in cats // Circulation Res. 1994. V.75. P.722—732. Doi:10.1161/01.RES.69.4.1075.

Виноградова Т.М., Юзюк Т.Н., Зайцев А.В., Розенитраух Л.В. Развитие локальной невозбудимости в клетках синусового узла и в других клетках с диастолической деполяризацией в правом предсердии кролика при действии ацетилхолина // Физиол. журн. им.И.М.Сеченова. 1996. Т.82. №10—11. С.1—19.

Юзюк Т.Н., Федоров В.В., Зайцев А.В., Розенштраух Л.В. Возникновение локальной невозбудимости в синусовом узле кролика при раздражении внутрисердечных парасимпатических нервов // Кардиология. 1997. Т.37. №4. С.34–42.

Vinogradova T.M., Fedorov V.V., Yuzyuk T.N., Zaitsev A.V., Rosenbtraukh L.V. Local cholinergic suppression of pacemaker activity in rabbit sinoatrial node // J. Cardiovascular Pharmacology. 1998. V.44. P.213–226.

Rosenbtraukh L.V., Fedorov V.V., Sharifov O.F. Cholinergic atrial fibrillation // Cardiac electrophysiology: From cell to bedside / Eds D.P.Zipes, J.Jalife. N.Y., 2004. P.306–316.

Fedorov V.V., Hucher W.J., Dobrzynski H., Rosenbtraukh L.V. Post-ganglionic nerve stimulation induced temporal inhibition of excitability in rabbit sinoatrial node // Amer. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. 2006. V.291. P.612–623. Doi:10.1152/ajpheart.00022.2006.

Abramochkin D.V., Kuzmin V.S., Sukhova G.S., Rosenbtraukh L.V. Modulation of rabbit sinoatrial node sequence by acetylcholine and isoproterenol investigated with optical mapping technique // Acta Physiol. 2009. V.196. P.385–394. Doi:10.1111/j.1748-1716.2009.01963.x.

Абрамочкин Д.В., Кузьмин В.С., Сухова Г.С., Розенштраух Л.В. Феномен холинэргической невозбудимости в предсердном миокарде низших позвоночных животных // Рос. физиол. журн. им.И.М.Сеченова. 2009. Т.95. №6. С.573–582.

Алиев Р.Р., Абрамочкин Д.В., Розенштраух Л.В. Теоретическое и экспериментальное изучение модальности реакций клеток водителей ритма синоатриального узла при вагусной стимуляции // Рос. физиол. журн. им.И.М.Сеченова. 2009. Т.95. №1. С.49–57.

Abramochkin D.V., Kuzmin V.S., Sukhova G.S., Rosenbtraukh L.V. Investigation of pacemaker shift in the rabbit sinoatrial node using the optical mapping technique // Biophysics. 2010. V.55. P.442–446. Doi:10.1134/S0006350910030152.

Abramochkin D.V., Kuzmin V.S., Sukhova G.S., Rosenbtraukh L.V. Cholinergic modulation of activation sequence in the atrial myocardium of non-mammalian vertebrates // Comp. Biochem. Physiol. Part A. 2010. V.155. P.231–236. Doi:10.1016/j.cbpa.2009.11.002.

Кузьмин В.В., Розенштраух Л.В. Современные представления о механизмах возникновения фибрилляции предсердий. Роль миокардиальных рукавов в легочных венах // Успехи физиол. наук. 2010. Т.41. №4. С.3–26.

Egorov Y., Kuzmin V.V., Glukhov A.V., Rosenbtraukh L.V. Electrophysiological characteristics, rhythm disturbances and conduction discontinuities under autonomic stimulation in rat pulmonary myocardial vein // J. Cardiovascular Electrophysiol. 2015. Doi: 10.1111/jce.12738.

чать после того, как стало известно, что в устьях легочных вен у человека происходят триггерные события, запускающие мерцательную аритмию. Затем начались разносторонние исследования механизмов запуска импульсами, исходящими из рукавов легочных вен. В лаборатории Розенштрауха механизм изучали на препаратах, полученных от крыс. В итоге обнаружили, что в предсердных клетках рукавов легочных вен (ПКРЛВ) возникает автоматическая активность из-за развития в них диастолической деполаризации и ранней постдеполяризации. Последняя обеспечивает высокочастотную активность, которая запускает мерцательную аритмию предсердий.

Клеточные структуры рукавов легочных вен обладают некоторыми электрофизиологическими особенностями. Среди них нестабильность мембранного потенциала покоя в ПКРЛВ, которая предрасполагает к развитию в них блоков проведения. Другая особенность в том, что стимуляция предсердий и нейрогенные воздействия на ПКРЛВ способствуют отражению возбуждения от рукавов легочных вен (ранее обнаруженному на структурах атриовентрикулярного узла). Это вызывает развитие предсердных тахиаритмий вследствие поддержания циклического движения волны из рукавов легочных вен в предсердия и в обратном направлении. Проще говоря, непрерывность движения возбуждения по предсердиям приводит к пароксизмальной и хронической формам тахиаритмий.

Результаты, которые были получены в цикле работ Розенштрауха, позволяют глубже понять вегетативный контроль ритма сердца в норме и при самой распространенной форме аритмий — мерцательной.

Как видно из всего сказанного, универсальные идеи Павлова о нервизме находят отражение в современных исследованиях. ■

Новости науки

Физика атомного ядра и элементарных частиц

На пути к созданию «Супер чарм-тау-фабрики»

В конце 2015 г. в Институте ядерной физики (ИЯФ) им. Г.И. Будкера СО РАН (г. Новосибирск) ввели в строй первую очередь ускорительного комплекса «ВЭПП-5» — источника высокоинтенсивных пучков электронов и позитронов, который входит в состав создаваемого здесь нового сверхмощного электронно-позитронного коллайдера для изучения явлений и процессов, выходящих за рамки Стандартной модели устройства Вселенной. В шестерку перспективных мегапроектов российской науки он вошел под названием «Супер чарм-тау-фабрика». Для ее запуска предстоит построить еще несколько зданий, создать около километра подземных тоннелей, где будет располагаться комплекс ускорителя, а также собрать и смонтировать магниты, вакуумные камеры и другое оборудование. Сроки работы над проектом в институте пока не называют, отмечая, что они будут зависеть от уровня его финансирования.

Размер кольца коллайдера составит всего 800 м. В нем будут сталкиваться встречные пучки электронов и позитронов с энергией от 1 до 2,5 ГэВ. Российская установка получит ряд неоспоримых преимуществ, к которым прежде всего следует отнести светимость (т.е. количество сталкивающихся частиц в единицу времени) до $10^{35} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, в 100 раз превышающую достигнутую на других ускорителях в отмеченном диапазоне энергий. Достижению этого параметра будет способствовать использование инновационной технологии встречи пучков, предложенной итальянскими физиками с участием сотрудников ИЯФ СО РАН и получившей название «краб-вэйст» (англ. crab waist — крабовая перетяжка). Кроме того, здесь будут создаваться пучки с продольной поляризацией (направлением спина частиц параллельно скорости), что до сих пор не

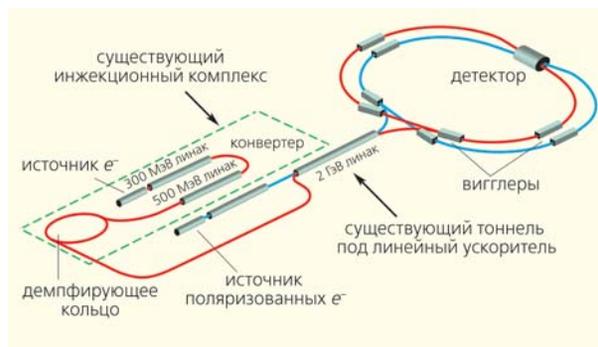


Схема «Супер чарм-тау-фабрики». Указаны существующие объекты, которые войдут в будущую фабрику как ее части.

www.inp.nsk.su

удавалось реализовать ни на одном электрон-позитронном коллайдере. Это даст возможность проведения недоступных ранее экспериментов. И наконец, разрабатываемая специалистами ИЯФ детектирующая система будет иметь рекордные характеристики по чувствительности, что обеспечит очень точное исследование свойств рождающихся частиц. Ускоритель станет инструментом для прецизионных измерений параметров прежде всего тау-лептонов и очарованных (англ. charm) кварков (с-кварков) — фундаментальных кирпичиков материи.



В туннеле ускорительного комплекса «ВЭПП-5».

Фото Ю.Поздняковой

Реализация проекта «Супер чарм-тау-фабрика», значимость которого для мировой науки признана Европейским комитетом по развитию будущих ускорителей (European Committee Facility Accelerator), обеспечит программу фундаментальных исследований ИЯФ СО РАН на ближайшие 10–20 лет. И она не ограничится работами в рамках одного направления — физики элементарных частиц. Особую ценность представляет «побочный продукт» новосибирской установки — возможность проведения экспериментов с использованием интенсивных пучков синхротронного излучения (СИ) высокой яркости. Это излучение, создаваемое электронными и позитронными пучками высокой энергии, давно превратилось в эффективный инструмент для работ в области физики твердого тела, химии, биологии, медицины, геологии и археологии. За рубежом СИ используют при производстве микросхем и в других высокотехнологических разработках. Параметры электронного пучка в кольце «Супер чарм-тау-фабрика» позволят получать синхротронное излучение с яркостью на несколько порядков выше, чем в самом мощном российском источнике СИ в Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт» (Москва). С помощью такого излучения можно создать рентгеновский микроскоп с пространственным разрешением менее 10 нм. Появится возможность для реализации дифрактометрии с пикосекундным временным разрешением для исследований в области спинтроники — одного из практических разделов нанoeлектроники. «Супер чарм-тау-фабрика» может стать важным компонентом уникальной для России высокотехнологичной базы, которая даст мощный импульс развитию фундаментальных и прикладных исследований в Сибирском регионе и в России в целом.

По материалам пресс-службы Института ядерной физики СО РАН

Физика

Получена фазовая диаграмма переходов между фотонными кристаллами и метаматериалами

Интенсивное развитие нанотехнологий стимулировало появление нового класса искусственно созданных структур — фотонных кристаллов и метаматериалов. Организованы они по принципу обычных кристаллов, т.е. состоят из периодически чередующихся элементов. Однако базовые «кирпичики» таких структур гораздо больше, чем атом или молекула. Они обладают необычными оптическими свойствами: пропускают световые волны лишь определенной длины, а другие отражают или поглощают. Для физики эти материалы интересны прежде всего тем, что обеспечивают почти полное управление движением проходящего через них света. Их можно встраивать в нано-

размерные оптические схемы и манипулировать поведением световых волн примерно так, как это происходит с электронами в современных микросхемах. Неслучайно подобные периодические структуры часто рассматривают в качестве оптических аналогов электронных полупроводников, а значит и как основу принципиально новых устройств оптической передачи и обработки информации — высокоэффективных светоизлучающих элементов, низкопороговых лазеров, оптических волноводов и др.

Особенности преломления света в фотонных структурах и метаматериалах зависят от свойств и расположения их базовых элементов. Группа физиков из Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики, Физико-технического института им.А.Ф.Иоффе РАН и Австралийского национального университета решила проверить, как будут меняться оптические характеристики материала, если плавно изменять параметры его компонентов. В качестве модели ученые использовали решетку диэлектрических цилиндров (пластиковых трубок), заполненных водой. При этом система их расположения напоминала батарею отопления.

Оптические свойства фотонных кристаллов и метаматериалов можно определить по двум главным параметрам: коэффициенту преломления света и расстоянию между соседними цилиндрами (играющему роль постоянной решетки). Если коэффициент преломления достаточно высок, то структура относится к классу метаматериалов, если мал — к фотонным кристаллам. Кроме того, при взаимодействии со светом в таких материалах могут возникать два типа резонансов: локальные, связанные с каждой отдельной трубкой (они характерны для метаматериалов), и протяженные брэгговские (так называемая брэгговская дифракция), которые появляются вследствие интерференции света, рассеянного на разных трубках (они характерны для фотонных кристаллов).

Участники российско-австралийского эксперимента исследовали 5000 оптических структур и провели вычисления для 100 различных значений коэффициента преломления и 50 значений постоянной решетки. Температура воды в трубках менялась от 20 до 90°C, что дало изменение показателя преломления в широких пределах. Расстояние между трубками варьировалось от нуля (в этом случае трубки соприкасались друг с другом) до сотни их радиусов. Полученные данные, которые хорошо согласовывались с теоретическими расчетами, позволили исследователям построить фазовую диаграмму переходов между фотонными кристаллами и метаматериалами.

«Обычно, когда говорят о фазовом переходе — резком изменении свойств, представляют превращение твердого предмета в жидкость или, напри-

мер, появление электрических свойств при изменении температуры или давления, — поясняет один из участников эксперимента М.В.Рыбин. — Это связано с тем, что температура и давление определяют строение материала на атомарном уровне, поэтому мы влияем на него в некотором смысле опосредованно, меняя параметры среды. В случае искусственных фотонных структур мы сами задаем требуемые свойства материала, выбирая взаимное расположение и показатель преломления структурных элементов — метаатомов. Это позволяет ввести понятие фазовой диаграммы в осях «геометрические размеры — показатель преломления». В нашем случае в периодической структуре появляется локальный отрицательный магнитный отклик — а это и есть признак метаматериала. То есть структура превращается из фотонного кристалла в метаматериал».

Важность работы международного коллектива* заключается в том, что впервые ученые предприняли попытку рассмотреть метаматериалы и фотонные кристаллы в рамках единой системы с определенным набором параметров. В дальнейшем это существенно упростит проектирование наноструктур с требуемыми оптическими характеристиками.

По материалам пресс-службы Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики и Физико-технического института им.А.Ф.Иоффе РАН

Химия

Кто открыл новые элементы таблицы Менделеева?

В конце декабря 2015 г. в Периодическую таблицу Д.И.Менделеева по решению Международного союза теоретической и прикладной химии (International Union of Pure and Applied Chemistry — IUPAC) были включены новые элементы с атомными номерами 113, 115, 117 и 118. Их синтезировали искусственно ученые Японии, России и США. В последний раз таблицу расширили в 2011 г., когда в нее внесли 114-й и 116-й элементы. Впервые же принятую периодизацию элементов по атомному весу Менделеев представил в 1869 г. К моменту создания таблица включала 63 открытых на то время элемента. Сегодня их почти вдвое больше. Четыре новых завершили седьмой ряд системы.

Приоритет в открытии 113-го элемента был признан за командой из японского Института физико-химических исследований (RIKEN). Первооткрывателями 115-го и 117-го элементов названы сотрудники Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ, г.Дубна, Россия), Ли-

верморской национальной лаборатории им.Э.Лоуренса и Окриджской национальной лаборатории (США). А открытие 118-го элемента закреплено за ОИЯИ и Ливерморской национальной лабораторией. Официальные названия элементов, временно именуемых унунтрием (Uut, 113-й), унунпентием (Uup, 115-й), унунсептием (Uus, 117-й) и унуноктием (Uuo, 118-й), будут утверждены советом IUPAC, после того как первооткрыватели в течение отведенных правилами пяти месяцев предложат собственные варианты.

115-й, 117-й и 118-й получили в ОИЯИ, который известен как мировой центр фундаментальной науки и своего рода «фабрика» по синтезу новых элементов. Ранее, в 2011 г., здесь открыли 114-й элемент — флеровий (Fl), названный в честь основателя Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ академика Г.Н.Флёрва (1913—1990), и 116-й элемент — ливерморий (Lv), в названии которого закреплен город Ливермор, где расположена Национальная лаборатория им.Э.Лоуренса. Ученые Ливермора уже более 20 лет участвуют в экспериментах по синтезу новых элементов, проводимых на циклотроне У-400 в Дубне. Признанный лидер этих работ — академик РАН Ю.Ц.Оганесян. Осуществленный под его руководством синтез 114—118-го элементов стал первым экспериментальным подтверждением открытия «островов стабильности» сверхтяжелых ядер, существование которых когда-то предсказал Флёрв. И это имеет принципиальное значение для ядерной физики (исследования структуры ядра), химии (проверки основополагающего закона периодичности свойств химических элементов таблицы Д.И.Менделеева) и понимания одного из ключевых вопросов современной науки — образования тяжелых ядер (процесса нуклеосинтеза). За последние 50 лет периодическая система пополнилась 17 новыми элементами (102—118-й), из которых в ОИЯИ синтезированы девять. Причем пять наиболее тяжелых зарегистрированы в Дубне в последние 10 лет.

Если в отношении 115-го, 117-го и 118-го элементов права первооткрывателей, отданные ОИЯИ, Ливерморской и Окриджской национальным лабораториям, никем не оспариваются, то приоритет на открытие 113-го элемента японскими физиками из RIKEN представители российско-американской коллаборации подвергают сомнению. В обоснование своей позиции в ОИЯИ выпустили пресс-релиз с хронологией работ.

Впервые изотоп 113-го элемента (с массой 284 и временем жизни около 1 с), утверждают физики Дубны, был зарегистрирован в подмосковном институте в 2003 г. в реакции кальция-48 с америцием-243 как дочерний продукт распада изотопа 115-го элемента с массой 288. Позже, в 2004 г., изотоп 113-го элемента с массой 278 и временем жизни несколько миллисекунд получили специалисты RIKEN. Но в эксперименте по облучению мишени висмута-209 ускоренными

* Rybin M.V., Filonov D.S., Samusev K.B. et al. Phase diagram for the transition from photonic crystals to dielectric metamaterials // Nat. Commun. 2015. Doi:10.1038/ncomms10102.

ионами цинка-70, который продолжался в Японии более 10 лет, им удалось зафиксировать только четыре события, связанных с рождением нового элемента. В Дубне же за это время зарегистрировали около 100 таких событий и, кроме того, выполнили пионерные эксперименты по изучению химических свойств 113-го элемента. Причем если дубнинский эксперимент можно повторить, то японский, замечают оппоненты, вряд ли — уж очень он экзотичен: чтобы получить миллисекундный изотоп, надо несколько лет облучать мишень ради одного ядра. Занятие это малоперспективное.

В ОИЯИ назвали решение IUPAC о закреплении открытия 113-го элемента за RIKEN «поспешным и односторонним». Тем более, замечают физики, в практике IUPAC достаточно прецедентов признания «совместного» приоритета. Например, авторство открытия 103-го, 104-го и 105-го элементов принадлежит ОИЯИ и Национальной лаборатории им.Э.Лоуренса (г.Беркли, США), за российско-американскими коллективами закреплено и авторство только что включенных в таблицу 115-го, 117-го и 118-го элементов. Свое отношение к решению IUPAC в Дубне предполагают определить после официального опубликования отчетов работы совместного комитета Международного союза теоретической и прикладной химии и Международного союза теоретической и прикладной физики, на паритетных началах утверждающего открытие новых химических элементов Периодической таблицы Д.И.Менделеева.

Что касается названий элементов, то по 115-му физики уже определились: московий в честь Московского региона, где выполнены данные работы. По названию 117-го и 118-го элементов вопрос пока остается открытым. 113-й, если спорные моменты удастся решить в пользу RIKEN, представители этого института предполагают назвать японием. Он станет первым из зарегистрированных в азиатской стране.

В настоящее время синтезом трансурановых элементов занимаются в США, России, Германии и Японии. Но научная конкуренция обостряется: недавно к исследованиям в данной области подключились Китай и Франция. Россия, работающая в тесной кооперации с зарубежными партнерами, дальнейшее развитие программы синтеза связывает с созданием в ОИЯИ первой в мире фабрики сверхтяжелых элементов на базе нового циклотрона DC-280. Его производительность будет в 10 раз превышать достигнутую на ускорителе У-400, где были получены все последние элементы. Новый циклотрон действительно станет фабрикой с большой скоростью наработки ядер. Он откроет путь к синтезу сверхтяжелых элементов 8-го периода таблицы Д.И.Менделеева с атомными номерами 119, 120 и далее. Конечно, с точки зрения химии говорить о них рано — ученые пока не зна-

ют времена их жизни. Но эти элементы крайне интересны для исследователей как аналоги всем известным элементам: 119-й — лития, натрия, калия, цезия, 120-й — кальция, бария.

По материалам пресс-службы Объединенного института ядерных исследований (г.Дубна)

Этнография

Северные манси: восхождение к Мир-сусне-хуму

Сотрудники Приполярного этнографического отряда Института археологии и этнографии СО РАН, продолжающие исследования на севере Западной Сибири, летом 2015 г. обнаружили артефакты, которые северные манси использовали в качестве предметов поклонения богам.

Северные манси — одна из крупных групп обских угров, представители которой проживают на территории Березовского р-на Ханты-Мансийского автономного округа — Югры. Их селения расположены в бассейне Северной Сосьвы и ее крупного левого притока — Ляпина. Описание и анализ современного состояния домашних (семейных) святилищ северных манси давно стали предметом научного интереса историков и этнографов. Дело в том, что в начале XXI в. такие места, служившие островком стабильности, на котором основывался традиционный уклад жителей Севера Сибири, выполняли важную функцию поддержания контактов между миром людей и миром богов в условиях существования локальных, небольших по размеру поселков.

В настоящее время дома манси представляют собой бревенчатые избы с чердачным помещением. Семейные фетиши хранятся в них в двух местах. Первое располагается в жилой комнате. В ее правом или левом углу на высоте около 1.5 м от пола устроена так называемая священная полка, укрытая занавеской; на ней стоят небольшие сундучки и чемоданы, в которых находится семейная атрибутика и изображения духов-покровителей. Вторым местом хранения изделий ритуального назначения внутри дома служит чердачное помещение. Вход женщинам сюда запрещен. Здесь обычно собирают «святые» вещи предыдущих поколений обитателей дома. Сундуки, ящики и чемоданы устанавливают на дощатом помосте; на продольные перекладки вывешивают шкуры принесенных в жертву животных, мешки с поднесенными божествам платками; на полу можно увидеть медвежий и оленьи черепа, оставшиеся после праздников и жертвоприношений.

В состав домашнего святилища входят фигуры духов-покровителей и их символика, подношения божествам, атрибуты шамана и медвежьего праздника; большая часть сохраняющейся атрибутики относится к XVIII—XX вв. Фактически перед нами — небольшие музейные собрания.



Богатырский шлем (1920—1930 гг.) и жертвенное покрывало с семью фигурами всадников (середина XX в.).



В пос.Хурumpaуль удалось найти фигуру семейного божества в верхнем одеянии, которое представляет собой мундир солдата пехоты образца 1763—1786 гг., перешитый по правилам потемкинской реформы 1786 г.

Помимо фигур духов-покровителей в домашних святилищах представлены предметы, относящиеся к почитанию младшего сына верховного бога Нуми-Торума — Мир-сусне-хума (Мир Озирающего Мужчины). В дар ему приносили предметы богатырского одеяния (шлемы, пояса, халаты, накидки, сапоги, седла, колчаны), большая часть которых была выполнена из сукна и украшена фигурой всадника. В силу того что эти одеяния возлагали на жертвенного коня или оленя (ими покрывали спину), они получили название жертвенных покрывал. В сезоне 2015 г. было обнаружено свыше десятка подобных культовых атрибутов*.

Наиболее часто мансийские покрывала выполняли в виде полотнищ прямоугольной формы с четырьмя, шестью или семью фигурами всадников — они символизировали «седло бога». Кроме «седла» богатырю шили пояс, на котором размещали четыре, пять или семь всадников. Завершал одеяние шлем, украшенный изображениями четырех или семи всадников. Когда в жертву Мир-сусне-хуму приносили коня, то около дома ставили четыре се-

ребряных блюда, чтобы конь бога не касался копытами грешной земли, а на жертвенное животное последовательно укладывали ритуальные «седло», пояс, шлем и колчан — это указывало на то, что Мир Озирающий Мужчина в богатырском одеянии на жертвенном коне возносится на небо.

Казалось бы, откуда у северных охотников и рыболовов столь важное место занимают верования и обряды, связанные с культом Мир-сусне-хума? Кругом болота, реки, лес без дорог, верхом не ездят, а бог при этом — всадник. По мнению ряда исследователей, данный персонаж пантеона заимствован предками манси и хантов из иранской мифологии: стабильные, многовековые контакты угров (во время их проживания в степях Южной Сибири) с Ираном не прошли бесследно.

Бесспорно, самой интересной находкой полевого сезона 2015 г. оказался суконный жерт-

венный шлем, украшенный фигурами всадника, петуха, гусей и неизвестного животного. Предположительно он изготовлен в 1920—1930-х годах. Известно, что в традиционных обществах важное значение в системе распознавания образа играл не сам портрет с индивидуальной характеристикой, а сопровождавшие изображение регалии, которые отражали его социальный статус. В частности, обские угры дополняли фигуры божеств символами власти своего времени: камзолами, чиновничьими мундирами, эполетами, шпагами и др. На обнаруженном шлеме на голове всадника — буденовка, а на боку божества — наган в кобуре: Мир-сусне-хума наделили знаками военных атрибутов 1930-х годов. Мастерца могла видеть красноармейскую форму и амуницию на односельчанах и перенести эту символику на изображение божества.

В целом новые находки представляют собой уникальные источники, которые позволят глубже понять сложный процесс формирования мировоззрения и религиозно-обрядовой практики древних насельников Западной Сибири. Привезенные культовые атрибуты северных манси пополнят фонды Музея истории и культуры народов Сибири и Дальнего Востока Института археологии и этнографии СО РАН.

© Бауло А.В.,

доктор исторических наук

Институт археологии и этнографии СО РАН

г.Новосибирск

* Бауло А.В. Боги и люди: жизнь под одной крышей // Археология, этнография и антропология Евразии. 2015. Т.43. №2. С.126—137.

Природноочаговые болезни на карте России

Ю.С.Равкин,

доктор биологических наук

Институт систематики и экологии животных СО РАН

Новосибирск

С.А.Соловьев,

доктор биологических наук

Омский государственный университет им.Ф.М.Достоевского

В 2015 г. географический факультет Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова опубликовал медико-географический атлас России «Природноочаговые болезни» под редакцией профессора С.М.Малхазовой. Рецензируемый труд — фундаментальное научное издание медико-экологической направленности. В атласе отражена обширная и разнообразная информация о природноочаговых болезнях и эколого-географических особенностях, определяющих их распространение на территории России.

Атлас отличается высоким научным уровнем приведенных данных, качественным иллюстративным материалом, современным техническим оформлением и оригинальностью построения. Коллектив авторов включает специалистов по медицинской географии, биогеографов, картографов и сотрудников Роспотребнадзора. Атлас издан на средства гранта Русского географического общества. Он содержит более 100 оригинальных карт России (масштаба 1:25 000 000 — 1:60 000 000) и мира (масштаба 1:120 000 000). Кроме того, в атлас включены карты для модельных регионов (масштаба 1:3 000 000 и 1:5 000 000), а также множество рисунков и фотографий. Список использованных источников включает 365 публикаций и карт, в их числе 100 на иностранных языках.

Атлас состоит из пяти разделов. Первый содержит информацию о способах отображения распространения природноочаговых болезней, их картографической изученности, основных методах и принципах составления атласа.

Во втором разделе («Природные и социально-экономические условия») проанализированы абиотические и биотические компоненты очагов ряда болезней. На шести страницах текста и 15 тематических картах Российской Федерации, выполненных в масштабе 1:30 000 000, представлены параметры климата, водотоков, почв, фитоценозов, структура земельных угодий, их эколо-



ПРИРОДНООЧАГОВЫЕ БОЛЕЗНИ:
МЕДИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АТЛАС РОССИИ /
Ред. С.М.Малхазова.

М.: Географический факультет МГУ, 2015. 208 с.

гической трансформации, плотности городского и сельского населения. Приведен анализ особенностей трансконтинентальных и внутриконтинентальных въездных и выездных туристических потоков как одной из причин появления и течения ряда природноочаговых болезней.

В третьем разделе («Носители и переносчики природноочаговых болезней») содержится подробная информация о представителях терио-, орнито- и ихтиофауны, а также о членистоногих — переносчиках патогенов. Раздел иллюстрирован профессиональными снимками живых объектов и картами их ареалов. Эти зоогеографические карты — итоги многолетнего труда коллектива авторов в различных регионах России, результаты аналитических обзоров, анализа публикаций и профильных фондов.

В четвертом разделе («Распространение основных природноочаговых болезней») приведе-

на итоговая информация о заболеваниях, их воздействии на организм человека, областях распространения и динамике заболеваемости населения. Этот раздел составляет более 50% рецензируемого труда. В него входят 23 очерка по болезням, которые наиболее характерны для территории РФ. Очерки выполнены по единому плану: общие сведения, эпидемиология и особенности природных очагов, исторический обзор, распространение в мире и в России, методы профилактики заболеваний. Изложенное позволяет получить представление о пространственно-временных закономерностях территориальной неоднородности в заболеваемости населения. При составлении карт этого раздела использованы как традиционные, так и новые методы картографирования. В частности, синтетические карты заболеваемости населения позволяют с исчерпывающей полнотой оценить проблему природноочаговых болезней в единых интегральных показателях. Серия карт по заболеваемости, составленных с применением методов математико-картографического моделирования, и ряд типологических карт динамики заболеваемости дают возможность оценить изменения в распростране-

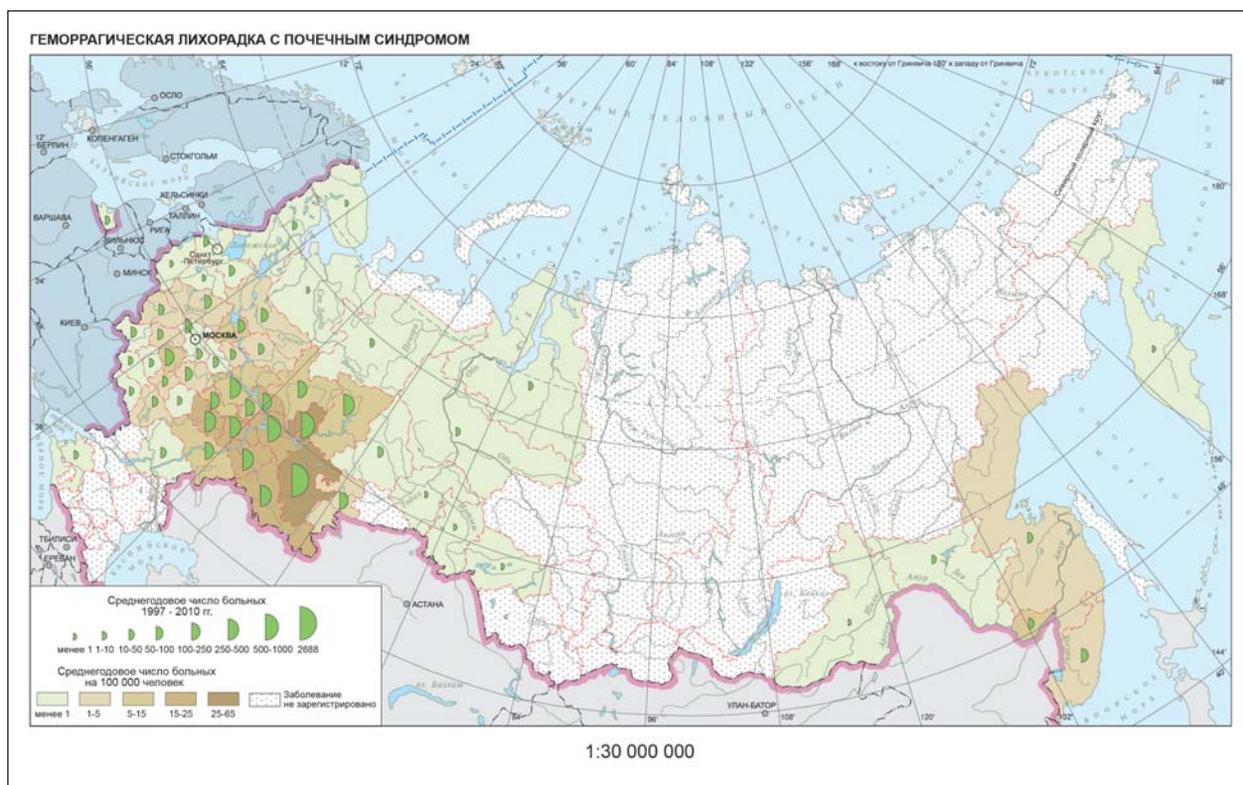
нии заболеваний. Эффективность таких карт заключается в установлении территориальных особенностей динамики болезней по выделенным кластерам с обобщенными представлениями о картографируемых явлениях. Для наглядности взаимосвязей пространственных данных и их временной динамики успешно применены кольцевые карты. Их эффективность и наглядность достигнуты тщательной работой с историческими фондовыми материалами, а также обработкой статистической информации по заболеваемости граждан России за период с 1997 по 2013 г.

Рецензируемый атлас выполнен по общепринятым методическим принципам тематического картографирования с использованием картографических, текстовых, архивных и фондовых материалов. Задействованы данные Росстата по социально-экономическому показателю и Роспотребнадзора РФ по заболеваемости населения. На региональном уровне применены материалы экспедиционных исследований и авторских разработок.

При использовании официальной государственной статистической информации основными картографическими единицами стали субъекты



Болезни с природной очаговостью. Нозогеографическая карта СССР (1964 г.). Долгое время это было единственное картографическое произведение, отображающее распространение природноочаговых болезней в России (рисунок из рецензируемого издания).



Заболееваемость геморрагической лихорадкой с почечным синдромом — одной из наиболее тяжелых и широко распространенных природноочаговых болезней в России (рисунок из рецензируемого издания).

Российской Федерации. На их уровне охарактеризована эпидемиологическая ситуация за анализируемый период. Для анализа распространения природных очагов болезней привлечены сведения о ландшафтной структуре природной среды. При анализе территориального распространения болезней сопоставлены карты заболеваемости и ареалов основных носителей, переносчиков и возбудителей инфекций и неоднородности природно-антропогенных предпосылок распространения заболеваний.

В пятом разделе («Территориальная организация санитарно-эпидемиологической службы») проанализирована система мониторинга, профилактики заболеваний и эпидемической безопасности.

Таким образом, карты рецензируемого атласа дают представление об эпидемической напряженности очагов во всех регионах России, о проявлении болезней в конкретных областях и позволяют прогнозировать необходимость разработки и проведения специальных профилактических и оздоровительных мероприятий для специальных служб субъектов РФ. Работа дает представление об уровне изученности природноочаговых болезней России, иллюстрирует природные и социально-экономические предпосылки возникновения болезней и области распространения наиболее значимых переносчиков болезней. Мы уверены, что атлас вызовет несомненный интерес

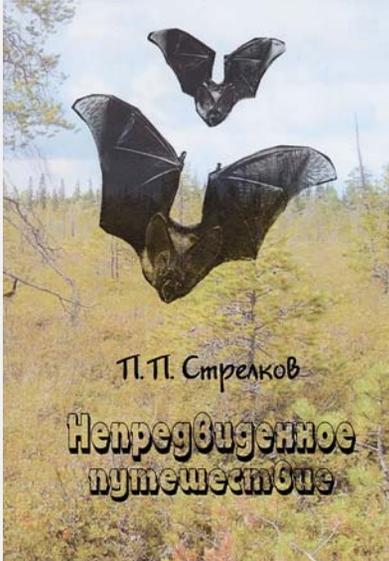


Полевая мышь (*Apodemus agrarius*) — носитель возбудителей некоторых природноочаговых инфекций. Фото А.А. Кадетовой (иллюстрация из рецензируемого издания).

и будет востребован специалистами и широким кругом граждан нашей страны, а также ближнего и дальнего зарубежья. В настоящее время это единственная картографическая сводка такого плана, которая несомненно заслуживает самой высокой оценки. ■

Зоология. История науки

П.П.Стрелков. НЕПРЕДВИДЕННОЕ ПУТЕШЕСТВИЕ. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2015. 134 с.



В книге собраны рассказы Петра Петровича Стрелкова (1931—2012) — известного зоолога, специалиста по рукокрылым, — об экспедиционных происшествиях (а он исколесил всю европейскую часть России, Казахстан, Узбекистан, Киргизию, Таджикистан, Туркмению, Кавказ и Закавказье) и эпизодах жизненного пути. Здесь и трудное детство военного и послевоенного времени, и воспоминания о близких людях, таких как выросшая его бабушка. И счастливая жизнь ученого, увлеченно работавшего по призванию, а не карьеры ради, человека с признанными в мире научными заслугами, но весьма скромной зарплатой научного сотрудника Академии наук. Изучая пещеры, Петр Петрович размышляет не только о летучих мышах, но и о монахах, некогда их населявших. Это произведения писателя-лирика, жившего в городе, но страстно любившего природу и хорошо знавшего и ценившего деревенскую жизнь. Во всех рассказах автор стремится к документализму, отказу от вымысла, при этом он не обделен чувством юмора. В сборник вошли некоторые из ранее опубликованных рассказов и произведения, найденные в компьютере автора после его кончины, а также репортаж журналиста Р.Е.Грузова о драматических событиях, описанных в истории «Непредвиденное путешествие».

Палеонтология

А.Ю.Журавлев. ПАРНОКОПЫТНЫЕ КИТЫ, ЧЕТЫРЕХКРЫЛЫЕ ДИНОЗАВРЫ, БЕГАЮЩИЕ ЧЕРВИ...
НОВАЯ ПАЛЕОНТОЛОГИЯ: РЕАЛЬНОСТЬ, КОТОРАЯ УДИВИТЕЛЬНЕЙ ФАНТАЗИЙ. М.: Ломоносовъ, 2015. 288 с.

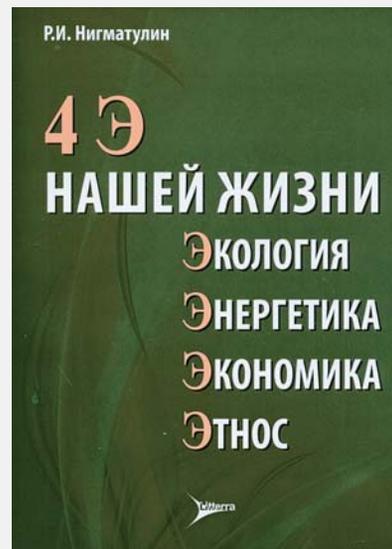
Научно-популярная книга по палеонтологии, не переведенная (да еще и с ошибками!), а написанная отечественным ученым, — все еще большая редкость. А ведь есть о чем рассказать — за последние 35 лет много нового, интересного и неожиданного удалось познать в естественной истории нашей планеты и в эволюции жизни на ней. Вот только некоторые примеры. Особенности литификации некоторых кембрийских членистоногих позволили реконструировать их нервную, пищеварительную и кровеносную системы. Уникальная сохранность раннемеловых динозавров на северо-востоке Китая позволила не только обнаружить, что тела у некоторых видов имели покров из напоминавших перья образований, но и открыть, что эти перья при жизни иридисцировали — переливались всеми цветами радуги. Находки в Египте и на севере Пакистана позволили внести в раннюю родословную китов новые формы — полуводного четвероногого бегемотоподобного пакицета, жившего 50 млн лет назад, и майцета, волочившего по берегу грузное тело на манер тюленя (он опирался на перепончатые лапы, гребя которыми прекрасно плавал), он обитал 47 млн лет назад. Изучение истории экосистем прошлого показывает, что по сравнению с поступательным преобразованием растительного и животного мира любые катаклизмы (будь то падение астероидов, вулканические взрывы, оледенения и потепления) — события несущественные и для эволюции малозначимые.



Наука и общество

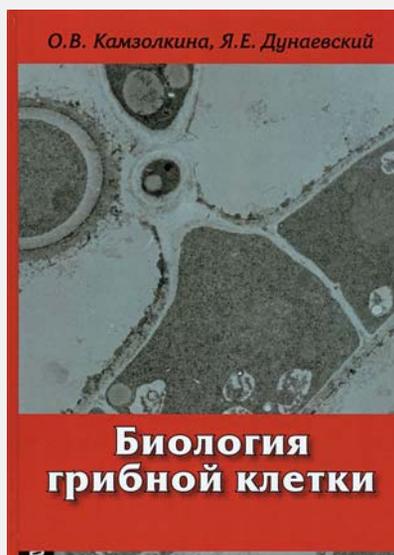
Р.И. Нигматулин. 4 Э НАШЕЙ ЖИЗНИ: ЭКОЛОГИЯ, ЭНЕРГЕТИКА, ЭКОНОМИКА, ЭТНОС. М.: Литтерра, 2015. 112 с.

Известный ученый — академик РАН, директор Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН — делится своими размышлениями о некоторых ключевых аспектах проблем глобального изменения климата (глава «Экология и ее база — климат»), новых энергетических технологий («Энергетика и ее перспективы»), макроэкономического роста («Экономика — как обеспечить ее рост?») и межэтнических отношений («Этнос, народ, история»). Красной нитью через все заметки проходит мысль об ответственности ученого и гражданина, которая раскрывается в заключении, названном «Необходимость активизации науки». Среди иллюстраций обращает на себя внимание график изменения общего коэффициента смертности в нашей стране, в странах Восточной и Западной Европы с 1980 по 2015 г., при этом напротив соответствующих участков кривой смертности в России указаны фамилии министров здравоохранения. Основу книги составила лекция, прочитанная на заседании Академии наук Республики Татарстан, на Фестивале науки для молодежи в Уфе, организованном Академией наук Республики Башкортостан, в Санкт-Петербургском гуманитарном университете профсоюзов и в Центральном аэрогидродинамическом институте им. Н.Е. Жуковского. Завершают книгу ответы на вопросы слушателей об экосистеме Земли, генофонде, Украине, американских школах и университетах, об этике дискуссий, о личной жизни и др.



Цитология. Микология

О.В. Камзолкина, Я.Е. Дунаевский. БИОЛОГИЯ ГРИБНОЙ КЛЕТКИ: Учебное пособие. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2015. 239 с.



Широкое использование грибов для нужд сельского хозяйства, легкой, пищевой и фармацевтической промышленности привело к тому, что микологические знания требуются теперь представителям самых разнообразных профессий, работающим с грибами или продуктами их метаболизма. Первый отечественный учебник, посвященный различным аспектам биологии грибной клетки, базируется на лекционных курсах «Цитология грибов» и «Физиология и биохимия грибов», которые авторы читают на кафедре микологии и альгологии биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Представлена практически исчерпывающая и многосторонняя характеристика (основанная на синтезе классических и современных представлений в области микологии, цитологии, биохимии и генетики) основных структур грибной клетки, их функций в процессе роста и развития мицелиальных и одноклеточных грибов. Рассмотрены основные вопросы метаболизма грибов, изложены актуальные представления о жизни и смерти грибной клетки. Подробно разобраны: поляризованный рост мицелиальных грибов и дрожжей, особенности цитокinesis и формирования септ, участие цитоскелета в морфогенезе, роль альтернативного дыхания, особенности структуры анаэробных грибов, а также сравнение апоптотического аппарата грибов с высшими эукариотами. Особое внимание уделено структуре ядерного аппарата, особенностям митоза и мейоза у грибов.

Правила для авторов

Журнал «Природа» публикует работы по всем разделам естествознания: результаты оригинальных экспериментальных исследований; проблемные и обзорные статьи; научные сообщения и краткие рефераты наиболее примечательных статей из научных журналов мира; рецензии; персоналии; материалы и документы по истории естественных наук. Поскольку статьи адресуются неспециалистам, желающим знать, что происходит в смежных областях науки, суть проблемы необходимо излагать ясно и просто, избегая узкопрофессиональных терминов и математически сложных выражений. Авторами могут быть специалисты, работающие в том направлении, тема которого раскрывается в статье. Без предварительной апробации научным сообществом статьи не принимаются, а принятые к публикации в «Природе» рецензируют-

ся и проходят редакционную подготовку.

Допустимый объем статьи — до 30 тыс. знаков (с пробелами). В редакцию статьи можно прислать по электронной почте прикрепленными файлами или на любом из следующих носителей: компакт-дисках CD-R или CD-RW; дисках DVD+R или DVD+RW; дисках Zip 100 Mb; на устройствах, поддерживающих USB. Для сжатых файлов необходимо представить свой архиватор. Самораспаковывающиеся архивированные файлы не принимаются.

Текст статьи, внутри которого библиографические ссылки нумеруются по мере цитирования, аннотация (на русском и английском языках), таблицы, список литературы и подписи к иллюстрациям оформляются одним файлом в формате MS с расширением doc, txt или rtf. Иллюстрации присылаются отдельными файлами. Если пере-

сылаемый материал велик по объему, следует архивировать его в формат ZIP или RAR.

Принимаются растровые изображения в форматах: EPS или TIFF — без LZW-компрессии. Цветные и полутоновые изображения должны иметь разрешение не ниже 300 dpi, черно-белые (B/W, Bitmap) — не менее 800 dpi. Принимаются векторные изображения в формате COREL DRAW CDR (версии 9.0—11.0) и Adobe Illustrator EPS (версий 5.0—8.0).

Редакция высылает автору статью для согласования только в виде корректуры. Все авторские исправления необходимо выделять цветом, курсивом, полужирным шрифтом и т.д. и не трогать формулы и специальные символы (греческие буквы, математические знаки и т.п.), в которых ошибки не допущены.

Поступление статьи в редакцию подтверждает полное согласие автора с правилами журнала.

ПРИРОДА

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА

М.Б.БУРЗИН

Т.С.КЛЮВИТКИНА

К.Л.СОРОКИНА

Н.В.УЛЬЯНОВА

М.Е.ХАЛИЗЕВА

О.И.ШУТОВА

А.О.ЯКИМЕНКО

Литературный редактор
Е.Е.ЖУКОВА

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Графика, верстка:
С.В.УСКОВ

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредитель:
Президиум Российской академии наук

Издатель: ФГУП «Академиздатцентр «Наука»
117997, Москва, Профсоюзная ул., 90

Адрес редакции: 119049,
Москва, Мароновский пер., 26
Тел.: (499) 238-24-56, 238-25-77
E-mail: priroda@naukaran.ru

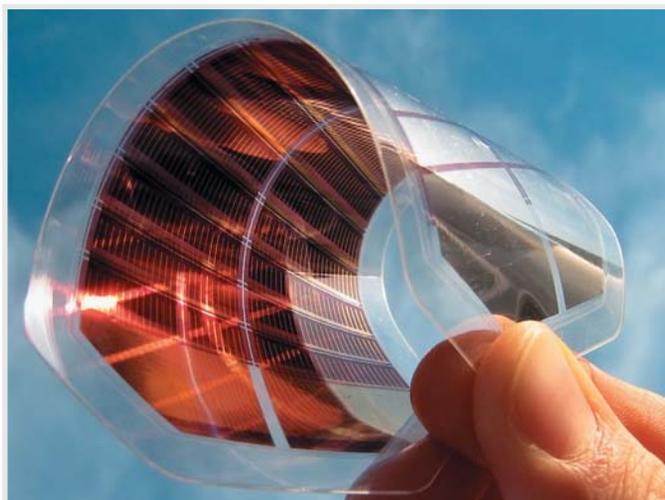
Подписано в печать 19.02.2016
Формат 60×88 1/8
Бумага офсетная. Офсетная печать
Усл. печ. л. 11,16. Уч. изд. л. 12,2
Тираж 366 экз.
Заказ 1096
Цена свободная

Отпечатано ФГУП «Академиздатцентр «Наука»,
(типография «Наука») 121099, Москва, Шубинский пер., 6

www.ras.ru/publishing/nature.aspx

При использовании материалов ссылка на журнал «ПРИРОДА» обязательна.

в следующем номере



Солнечные элементы все прочнее входят в нашу жизнь. Обыденными стали портативные зарядные устройства, часы, калькуляторы, источник энергии для которых — солнечный свет. Уже разработаны коммерчески доступные проекты для обеспечения электричеством индивидуальных домов за счет солнечных панелей на крыше. Исправно служат такие батареи и в космосе — на орбитальных станциях, спутниках, других космических аппаратах. Пока промышленность производит солнечные элементы на основе неорганических полупроводников — того же кремния, интерметаллидов и др. Хотя здесь и достигнут внушительный коэффициент полезного действия — 46%, подобная продукция страдает целым рядом недостатков: она хрупкая, достаточно тяжелая, по геометрии исключительно плоская, а главное, весьма дорогая. Этим недостаткам в значительной степени лишены элементы, построенные из органических материалов, которые дешевле, легче, прочнее, способны принимать различную форму. Однако для таких батарей максимальный достигнутый коэффициент полезного действия на сегодня — лишь 12%. В чем особенности функционирования органических элементов, каковы пути повышения их эффективности и что за перспективы ожидают нас на этом пути?

Дроздов Ф.В., Пономаренко С.А. ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ — ЛЕГКИЕ, ГИБКИЕ, ПОЛУПРОЗРАЧНЫЕ

