

ПРИРОДА

12 12



В НОМЕРЕ:**3 Ковальчук М.В., Новикова Н.Н., Якунин С.Н.****Стоячие рентгеновские волны и биологическое материаловедение**

В поле зрения рентгеноструктурного анализа недавно попали совершенно новые объекты — биологические наноструктуры. Благодаря развитию экспериментальной техники их удастся исследовать непосредственно на жидкости, в их родной стихии.

15 Белицкий Г.А., Якубовская М.Г.**Трансмиссивные клоны злокачественных клеток**

Успешные опыты М.А.Новинского по перевивке злокачественной опухоли, выполненные еще в конце XIX в., легли в основу создания многочисленных опухолевых штаммов. Сегодня в коллекции Российского онкологического центра РАМН имеется несколько десятков перевиваемых опухолей, полученных из самых разных органов и тканей.

27 Махмутов В.С., Стожков Ю.И.**Международный эксперимент CLOUD: частицы и облака**

Облачный покров в значительной степени определяет земной климат, регулируя пробивающийся к поверхности Земли поток солнечной энергии. А как на облака влияет другой поток из космоса — космические лучи?

34 Бармин А.А., Гордеев Е.И., Мельник О.Э.**Вулканомеханика**

Никакими прямыми способами невозможно получить информацию о процессах, происходящих при подъеме магмы к поверхности, тем не менее для изучения и прогноза вулканической активности успешно применяются методы гидромеханики и теории упругости.

42 Портнов А.М.**Кимберлиты — мантийные флюидзиты**

Почему кимберлиты расположены только на «платформах» — самых стабильных блоках земной коры? Что за чудовищные силы заставили эти алмазоносные породы мантии рвануться вверх и пробить мощную толщу более легких пород?

49 Наугольных С.В.**Символ Гондваны**

Символ Гондваны — это род *Glossopteris*. Характер распространения ископаемых остатков именно этих растений стал основой для реконструкции гигантского суперматерика, существовавшего во второй половине палеозойской эры в Южном полушарии. Изучение коллекций из Палеоботанического института им.Бирбала Сани в Индии показало, что глоссоптериды использовали две разных репродуктивных стратегии, позволившие им расселиться по всей Гондване и доминировать в течение десятков миллионов лет.

Вести из экспедиций**60 Берман Д.И.****Паляваам****Научные сообщения****70 Расцветаева Р.К.****Метавивинит или метаферроштрунцит?**

Комаров В.Н., Дирксен Е.О., Рузаева И.Н.

«Куриные боги» брахиопод (73)**Рецензии****77 Бурлаков Ю.К.****Арктика в судьбе О.Ю.Шмидта**
(на кн.: В.С.Корякин. Отто Шмидт)**79****Новые книги****Встречи с забытым****80 Любина Г.И.****Московский ботаник**
А.Н.Петунников**В конце номера****88 Садчиков А.П.****Автор «Черной курицы»**
Антоний Погорельский**90****Тематический и авторский**
указатели за 2012 год

CONTENTS:**3 Kovalchuk M.V., Novikova N.N., Yakunin S.N.****X-ray Standing Waves and Biological Material Science**

Recently X-ray methods became applicable to a new kind of objects: bioorganic nanostructures. Due to progress of experimental instrumentation it became possible to study them directly on liquid surface, under physiological conditions.

15 Belitsky G.A., Yakubovskaya M.G.**Transmissive Clones of Malignant Cells**

Successful experiments by M.A. Novinsky in transplantation of malignant tumor performed as early as in the late 19th century formed the basis of creation of numerous tumor strains. Now the collection of Russian Center of Oncology of Russian Academy of Medical Sciences includes several dozen transplantable tumors derived from many different organs and tissues.

27 Makhmutov V.S., Stozhkov Yu.I.**International Experiment CLOUD: Particles and Clouds**

Cloud cover largely determines Earth's climate, regulating the fraction of the solar energy flux which reaches the Earth surface. And how the clouds are influenced by another flux from space — cosmic rays?

34 Barmin A.A., Gordeev E.I., Melnik O.E.**Volcanomechanics**

There are no direct methods to obtain information about processes occurring when magma goes up to the surface, but the methods of hydromechanics and elasticity theory are successfully applied for study and prognosis of volcanic activity.

42 Portnov A.M.**Kimberlits: Fluidisits of the Mantle Origin**

Why kimberlits are situated only at «platforms» — the most stable blocks of the Earth's crust? What tremendous forces made these diamondiferous rocks of the mantle to rush upward and penetrate a massive strata of lighter rocks?

49 Naugolnykh S.V.**Symbol of Gondwana**

Symbol of Gondwana is the genus *Glossopteris*. The pattern of distribution of fossils of exactly these plants became the basis of reconstruction of this giant super-continent which existed in the second half of Paleozoic epoch in the southern hemisphere. Study of collections of Birbal Sani Paleobotanics Institute in India has shown that glossopterides used two different reproductive strategies which allowed them to colonize the whole Gondwana and dominate it over dozen million years.

Notes from Expeditions**60 Berman D.I.****Palyavaam****Scientific Communications****70 Rastsvetaeva R.K.****Metavivianit or Metaferroshtuntsit?****Komarov V.N., Dirksen E.O., Ruzaeva I.N.****«Chicken's Gods» of Brachiopods (73)****Book Reviews****77 Burlakov Yu.K.****Arctic in the Destiny of O.Yu. Schmidt**

(on book: V.S. Karyakin. Otto Schmidt)

79**New Books****Encounters with Forgotten****80 Lyubina G.I.****Moscow Botanist A.N. Petunnikov****In the End of the Issue****88 Sadchikov A.P.****The Author of «Black Hen» Antony Pogorelsky****90****Subject and Author Index for 2012**

Стоячие рентгеновские волны и биологическое материаловедение

М.В.Ковальчук, Н.Н.Новикова, С.Н.Якунин

Открытие дифракции рентгеновских лучей, столетний юбилей которого отмечался в уходящем году, относится к важнейшим научным событиям XX в. Для развития рентгеновской физики результаты, полученные М.Лауэ, В.Фридрихом и П.Книппингом, имели огромное значение, ведь именно в этих экспериментах была убедительно доказана волновая природа рентгеновских лучей и определена длина волны этого излучения. Однако настоящий переворот открытие дифракции рентгеновских лучей произвело в физике твердого тела и кристаллохимии, в корне изменив представление ученых о строении материи и способах ее изучения. В наши дни дифракционный рентгеноструктурный анализ — один из наиболее мощных инструментов для исследования кристаллических материалов, включая такие сложные кристаллы, как белковые.

Важный шаг в рентгеновских исследованиях был сделан в конце XX в. Освоение высокоинтенсивных источников рентгеновского излучения — синхротронов — дало реальную возможность изучать слабобрасеивающие системы и таким образом перейти от структурной диагностики объема вещества к поверхности. С другой стороны, этот поворот был продиктован



Михаил Валентинович Ковальчук, член-корреспондент РАН, директор Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». Главный редактор журнала «Кристаллография». Область научных интересов — кристаллография и кристаллофизика, физика конденсированного состояния, нанобиоорганические материалы и системы, применение рентгеновского, синхротронного излучения и нейтронов в материаловедении.

Лауреат премии правительства РФ в области науки и техники, премии имени Е.С.Федорова РАН, кавалер орденов «За заслуги перед отечеством» III и IV степеней.



Наталья Николаевна Новикова, доктор физико-математических наук, заведующая лабораторией рентгеновских исследований биоорганических наноструктур того же института. Занимается изучением рассеяния рентгеновского излучения на одномерно-периодических системах, рентгеновскими методами структурной диагностики тонких пленок, применением синхротронного излучения для изучения биоорганических наноматериалов.



Сергей Николаевич Якунин, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории структурного анализа и фазочувствительных методов того же института. Специалист в области физики поверхности и границ раздела, рентгеновской и синхротронной диагностики планарных наноразмерных систем.

© Ковальчук М.В., Новикова Н.Н., Якунин С.Н., 2012

самой логикой развития полупроводникового материаловедения [1]. 1970-е годы можно назвать временем бурного развития поверхностно-чувствительных рентгеновских методов, благодаря которым удалось экспериментально реализовать структурные исследования тончайших поверхностных слоев и границ раздела кристаллов. Именно это в значительной степени определило впечатляющие успехи твердотельной микроэлектроники.

Сейчас на наших глазах стремительно формируется новая область физического материаловедения — биоорганическая [1]. Используя способность биологических молекул к самоорганизации, ученые научились «конструировать» биологические наносистемы, обладающие уникальными физико-химическими свойствами. Очевидно, что дальнейшее расширение границ применения этих новых материалов немыслимо без создания адекватных методов их характеристики. Поэтому сегодня одно из главных направлений в рентгеновских исследованиях связано с развитием методов структурной диагностики так называемых жидких конденсированных сред (soft condensed matter). Об одном из таких новых направлений и пойдет речь в этой статье.

Метод стоячих рентгеновских волн

Образование стоячей волны можно наблюдать при сложении двух когерентных волн одинаковой амплитуды в области их перекрытия. Характерная особенность волнового поля стоячей волны — периодическое изменение амплитуды колебаний с координатой. Особые точки, в которых амплитуда колебаний равна нулю, получили название «узлы стоячей волны», между ними расположены места с максимальным значением амплитуды — пучности. Расстояние между соседними узлами строго фиксировано и называется периодом стоячей волны. Еще одно важное свойство стоячей волны состоит в том, что расположение узлов и пучностей в пространстве зависит от соотношения фаз обеих когерентных волн.

Рассмотренные закономерности носят общий характер и сходны для волн любых типов. В рентгеновском диапазоне длин волн для формирования стоячей волны используют интерференцию падающей волны и волны отраженной, которая образуется благодаря дифракции рентгеновского излучения на кристалле (рис.1). Возникающая в кристалле и над его поверхностью стоячая рентгеновская волна (СРВ) имеет период, равный межплоскостному расстоянию кристалла [2—5].

Важная особенность СРВ состоит в том, что распределение узлов и пучностей в пространстве сильно зависит от угла падения θ . Хотя диапазон углов, в котором наблюдается дифракционное отражение в кристаллах, составляет всего несколько угловых секунд, при изменении угла θ внутри этой

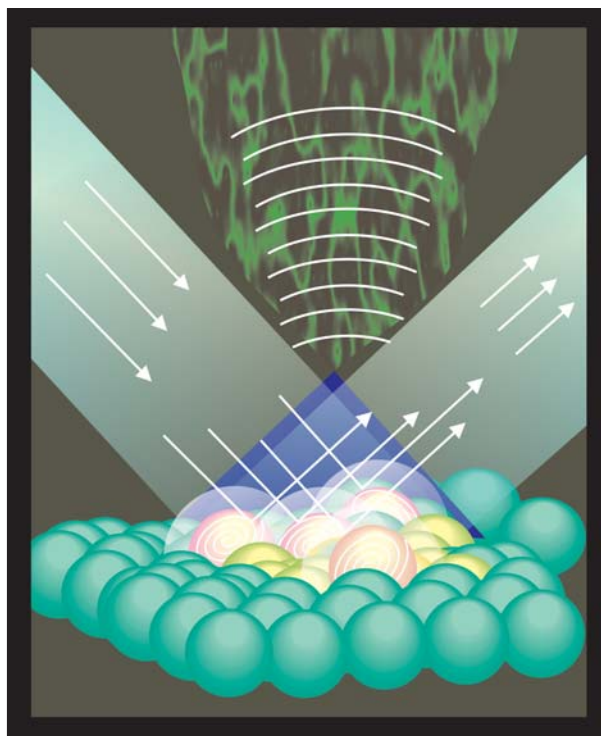


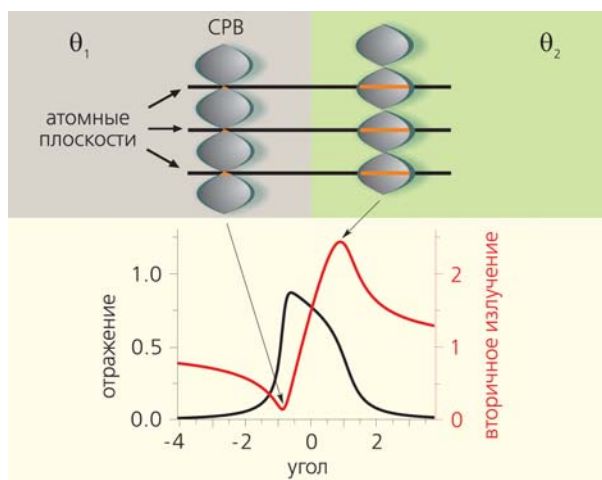
Рис.1. Образование стоячей рентгеновской волны в условиях дифракции в геометрии Брэгга: при падении рентгеновского пучка на кристалл под углом Брэгга благодаря дифракции формируется отраженная волна большой амплитуды. В результате когерентного сложения падающей и отраженной волн в кристалле и над его поверхностью возникает СРВ.

области разность фаз падающей и отраженной волн претерпевает существенные изменения — от нуля до π . Это означает, что при сканировании угла θ в пределах области дифракционного отражения узлы и пучности СРВ сдвигаются на расстояние, равное половине периода СРВ (рис.2).

Эти изменения в положении узлов и пучностей СРВ можно экспериментально зафиксировать, изучая угловую зависимость выхода вторичного излучения, которое испускают атомы при поглощении рентгеновских лучей. Поскольку интенсивность вторичного излучения пропорциональна интенсивности волнового поля в месте расположения атома, следует ожидать, что смещение узлов и пучностей СРВ (т.е. минимумов и максимумов интенсивности поля) должно приводить к резким модуляциям в интенсивности вторичного сигнала (рис.2). Измеряя угловую зависимость выхода вторичного излучения, мы обнаружим на этих кривых четко выраженные аномалии, которые позволяют «визуализировать» эффекты, связанные с существованием СРВ, и, можно сказать, служат «визитной карточкой» этого интереснейшего явления в рентгеновской оптике.

Понимание тонких механизмов формирования СРВ позволило ученым разработать новый

Рис.2. «Движение» СВВ при изменении угла θ в пределах области дифракции. Схематично показано распределение интенсивности волнового поля для двух фиксированных углов, соответствующих различным положениям узлов и пучностей относительно поверхности кристалла. При $\theta = \theta_1$ узлы СВВ приходятся на атомные плоскости кристалла, по мере увеличения угла происходит смещение СВВ, и при $\theta = \theta_2$ с атомными плоскостями совпадают пучности СВВ. Такие изменения интенсивности волнового поля приводят к резким модуляциям на угловой зависимости выхода вторичных излучений (красная кривая). В том случае, когда узлы СВВ приходятся на атомы кристалла, интенсивность вторичного излучения резко уменьшается. Если атомы попадают в пучности СВВ, интенсивность вторичного излучения достигает максимума.



метод структурной диагностики конденсированных сред, который обычно называют методом СВВ. Физическая сущность этого метода, а также вопросы, связанные с его практическим применением, достаточно широко и подробно обсуждаются в обзорах [2–5], поэтому напомним вкратце лишь общие принципы.

Метод СВВ основан на одновременной регистрации угловой зависимости рентгеновского отра-

жения и интенсивности выхода вторичных излучений (характеристической флуоресценции, фото- и оже-электронов, теплового и комптоновского рассеяния и др.), возникающих при поглощении рентгеновского излучения в условиях дифракции или полного внешнего отражения, когда в образце формируется отраженная волна большой амплитуды. Общая схема эксперимента приведена на рис.3.

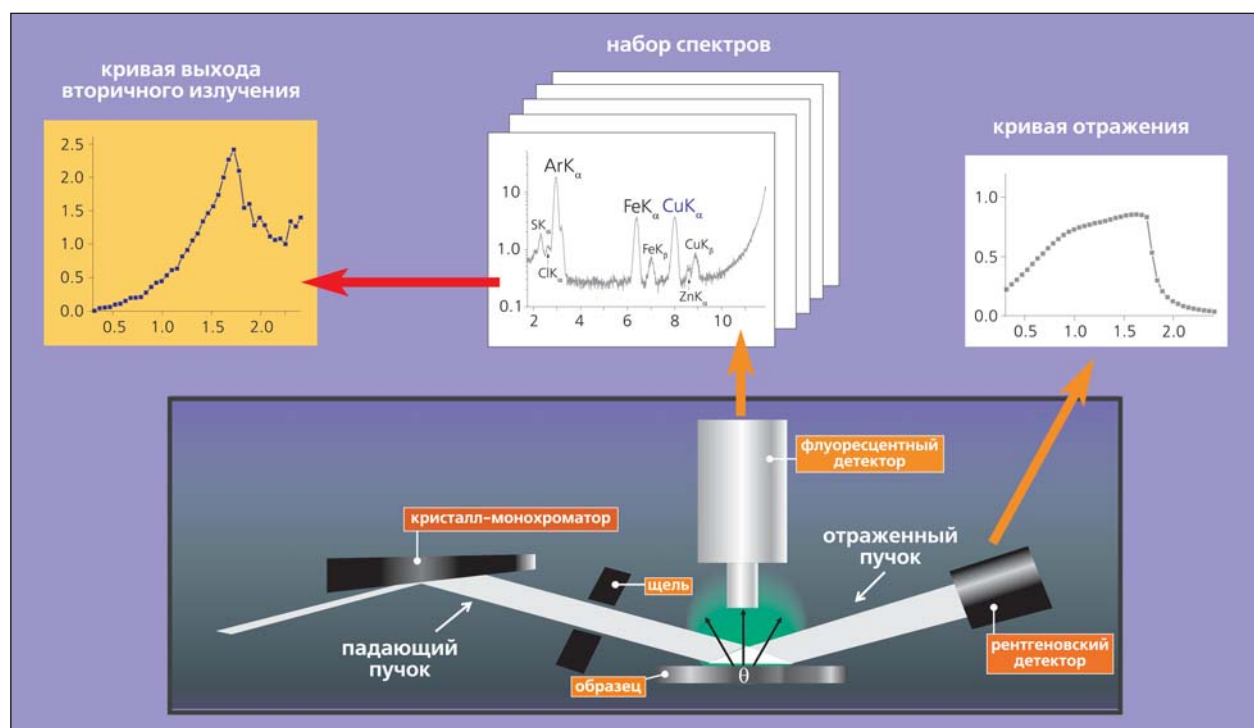


Рис.3. Общая схема эксперимента для модификации метода СВВ с измерением характеристической флуоресценции: угол падения рентгеновского пучка θ изменяют с некоторым шагом в угловой области дифракции или полного внешнего отражения. Для каждого угла θ измеряют интенсивность отраженного рентгеновского пучка и записывают спектр характеристического флуоресцентного излучения. Чтобы получить угловую зависимость выхода флуоресценции от атомов какого-то определенного сорта, интегральную интенсивность соответствующего пика на спектрах характеристического флуоресцентного излучения представляют как функцию угла θ .

Главная идея метода заключается в том, что форма угловой зависимости выхода вторичного излучения строго зависит от положения атомов-источников вторичного излучения, причем значительные изменения на этих кривых наблюдаются даже тогда, когда смещения атомов составляют малые доли межплоскостного расстояния кристалла. Это означает, что за счет спектроскопического выделения сигнала от атомов определенного сорта можно с высокой точностью определить местоположение этих атомов в кристалле и на его поверхности. Такое сочетание высокого пространственного разрешения рентгеновских лучей и спектроскопии вторичных излучений позволяет получать принципиально новую структурную информацию, недоступную традиционным рентгеновским методам.

Впервые модуляции на угловой зависимости выхода вторичных излучений в условиях дифракции на монокристалле были экспериментально зафиксированы в работах российских ученых [6], в которых был использован вторичный процесс с малой глубиной выхода (внешний фотоэффект). Эти результаты самым убедительным образом доказали факт формирования СРВ, и последовала целая серия работ, в которых были наглядно продемонстрированы возможности таких волн для структурных исследований. Уже в начале 1970-х годов новый метод прочно занял свое место в арсенале высокопрецизионных рентгеновских методов изучения строения кристаллов, причем как объемной структуры, так и тонких приповерхностных слоев [7, 8]. Отметим, что это классическое направление метода СРВ интенсивно развивается и сегодня.

Удлиняем период

Упорядоченные биоорганические наносистемы, используемые в современных биотехнологиях, имеют сложную молекулярную архитектуру и оказываются принципиально новыми объектами для рентгеновских исследований. Применить стоячие волны, которые формируются в кристаллах, для изучения таких объектов нельзя. Причина проста: стоячая волна в кристалле, имеющая тот же период, что и кристаллическая решетка, будет слишком «мелкой» шкалой для таких исследований. Действительно, биоорганические молекулы имеют большие размеры — десятки, а в некоторых случаях сотни ангстремов, поэтому период повторяемости пленок, состоящих из монослоев таких молекул, оказывается во много раз больше периода СРВ в кристаллах. Это означает, что атомы в молекулярной пленке попадают в различные позиции по отношению к «мелкомасштабной» стоячей волне. В результате равное количество атомов одновременно приходится как на пучности волнового поля, так и на узлы. Конечно, в та-

ком случае угловая зависимость выхода флуоресценции будет повторять по форме кривую рентгеновского отражения независимо от положения атомов в пленке, и метод СРВ не даст никакой структурной информации. Поэтому для исследований биоорганических наносистем необходимо сформировать стоячую волну, период которой был бы соизмерим с характерными размерами биоорганических макромолекул. Один из способов формирования СРВ с большим периодом основан на использовании явления полного внешнего отражения. Оно наблюдается в рентгеновском диапазоне длин волн благодаря тому, что показатель преломления рентгеновских лучей меньше единицы для любого вещества.

Волновое поле над поверхностью рентгеновского зеркала в области полного внешнего отражения представляет собой стоячую волну, которая образуется в результате когерентного сложения двух волн равной интенсивности — падающей и зеркально отраженной. Отличительная черта СРВ в области полного внешнего отражения — резкая (обратно пропорциональная) зависимость периода от угла. При $\theta = \theta_c$ (θ_c — критический угол полного внешнего отражения) период СРВ составляет несколько сотен ангстремов, с уменьшением угла период СРВ быстро растет и в пределе $\theta \rightarrow 0$ обращается в бесконечность (рис.4). Та-

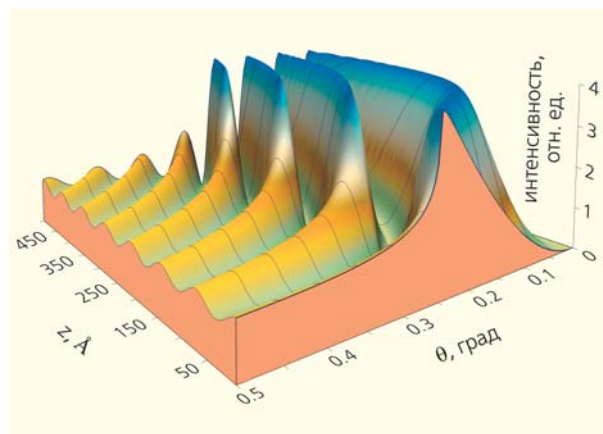


Рис.4. Распределение интенсивности волнового поля над поверхностью рентгеновского зеркала (координата z) в области полного внешнего отражения. Сложное интерференционное поведение волнового поля СРВ обусловлено тем, что при изменении угла в области $0 < \theta < \theta_c$ происходит резкое увеличение периода СРВ — от нескольких сотен ангстремов при $\theta = \theta_c$ до бесконечности при $\theta = 0$. Одновременно с этим смещается положение узлов и пучностей относительно поверхности зеркала: при $\theta = 0$ у поверхности находится узел СРВ, а пучность локализована на бесконечности. По мере увеличения угла θ первая пучность СРВ шаг за шагом приближается к зеркалу и достигает его поверхности вблизи критического угла полного внешнего отражения θ_c . Эти закономерности носят общий характер и не зависят от материала рентгеновского зеркала.

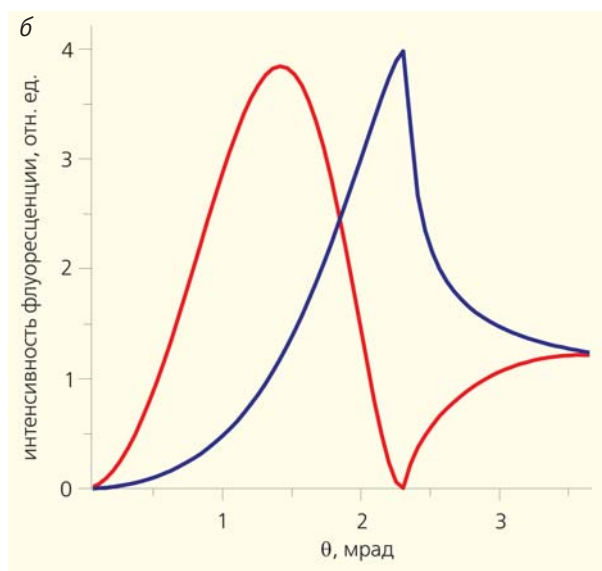
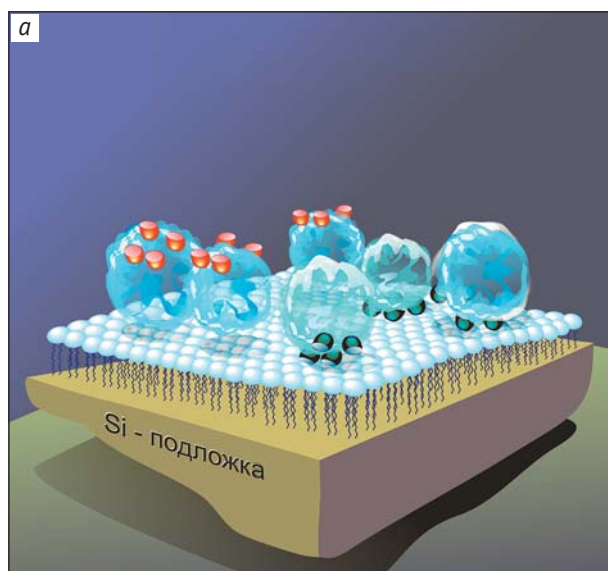


Рис.5. Длиннопериодические СРВ в условиях полного внешнего отражения, используемого для изучения биоорганических пленок. Схематично изображен монослой белковых молекул, нанесенный на твердую подложку — пластину из кремния (а), и показаны кривые выхода флуоресцентного излучения (б), рассчитанные для двух различных положений атомов в белковых молекулах — у нижней и у верхней границы белкового монослоя (синяя и красная линии соответственно).

кая стоячая волна представляет собой идеальную «масштабную линейку» для исследования крупных биоорганических молекул. Изменяя угол θ , можно буквально просканировать волновым полем отдельные белковые молекулы, нанесенные на поверхность рентгеновского зеркала, напрямую определяя место связывания атомов того или иного сорта (рис.5). Именно поэтому любое рентгеновское зеркало можно использовать в качестве «генератора» длиннопериодических СРВ для характеристики биоорганических пленок, которые наносят на поверхность зеркала.

Исключительные возможности метода СРВ в области полного внешнего отражения для изучения структуры и элементного состава органических и биоорганических пленок на твердых подложках были продемонстрированы уже в первых исследованиях в конце 1980-х — начале 1990-х годов [9—12]. Особое место в этом ряду занимает работа [11], где было впервые экспериментально зафиксировано формирование амплитудно-модулированной СРВ над поверхностью рентгеновского волновода. Были выполнены измерения выхода флуоресценции от монослоя стеарата марганца, нанесенного на поверхность волноводной структуры, которая состояла из ультратонких слоев Ni/C/Rh. Благодаря амплитудной модуляции СРВ удалось заметно повысить пространственное разрешение в направлении нормали к поверхности, что позволило получить детальную информацию о структуре органического монослоя. Исследования, проведенные в [12], были посвящены решению более сложных задач — изучению проникновения ионов калия через многослойную наносис-

тему, изготовленную на основе жирной кислоты и антибиотика валиномицина. При этом было показано, что ионы калия группируются в кластеры, заполняя «каналы» в биоорганической пленке.

Среди недавних работ можно отметить серию экспериментов, в которых метод СРВ был использован для разработки новых подходов к анализу эффективности и безопасности действия лекарственных препаратов [13, 14]. Изучение молекулярной организации и элементного состава белковых пленок на основе металлоферментов Са-АТФаза и щелочная фосфатаза позволили провести сравнительную оценку эффективности действия четырех лекарственных препаратов, применяемых для ускорения выведения тяжелых металлов из организма человека. Одно из главных преимуществ таких экспериментов — возможность выявлять тонкие механизмы взаимодействия лекарственных препаратов с белковыми макромолекулами, а значит извлекать дифференциальные данные о действии лекарственного препарата (в отличие от интегральной информации, получаемой на целостных клетках или живом организме, когда результаты зависят от множества физиологических, средовых, генетических и других факторов).

«Вопросы природе»

Великий философ, основоположник английского эмпиризма, Ф.Бэкон писал, что благодаря экспериментальным измерениям ученый получает возможность «задавать вопросы природе». Пожалуй, главный «вопрос природе», на который челове-

ство пытается найти ответ уже многие тысячи лет, это — что же такое жизнь? Чем отличается живое от неживого? Сегодня ответы на эти вопросы ученые ищут на клеточном уровне, рассматривая клетку как универсальную структурную единицу всех живых организмов.

За последние десятилетия благодаря выдающимся достижениям биологических наук наши знания о молекулярной организации и механизмах функционирования клетки качественно изменились, что позволило еще глубже проникнуть в тайну строения живой материи. Следует, однако, подчеркнуть, что изучение внутреннего устройства клетки представляет исключительный интерес не только с точки зрения фундаментальных знаний. Уже более 30 лет назад была высказана мысль, что клетка и ее органеллы — наиболее удобные объекты для понимания и описания болезней. Сегодня в медицине появились такие диагнозы, как «молекулярные болезни», «болезни митохондрий», «мембранопатии».

Ключевую роль в процессах жизнедеятельности и развития клеток играют клеточные мембраны, которые обеспечивают барьерную, транспортную, рецепторную, энергетическую и другие важные функции клеток. Несмотря на успехи молекулярной мембранологии, многие механизмы функционирования клеточных мембран все еще не выяснены, так что развитие новых подходов к изучению этих сложнейших биологических систем по-прежнему актуально. Понять, как устроены биологические мембраны, можно с помощью экспериментов на модельных системах, в первую очередь на упорядоченных белково-липидных

пленках (рис.6). Такие исследования дают принципиальную возможность моделировать различные биофизические и биохимические процессы, протекающие в биологических мембранах, и получать информацию о свойствах, принципах функционирования и структуре биологических мембран на молекулярном уровне.

Упорядоченные белково-липидные пленки представляют собой системы, толщина которых лежит в нанометровом диапазоне. Поэтому совершенно естественно, что мощный арсенал современных поверхностно-чувствительных рентгеновских методов все более активно привлекается для изучения подобных объектов. Новый этап в исследованиях белково-липидных моделей клеточных мембран начался в 1980-х годах благодаря созданию принципиально новой экспериментальной техники. Ученые получили возможность проводить рентгеновские измерения тонких пленок, сформированных непосредственно на поверхности жидкости, что поставило структурную диагностику модельных биологических систем на качественно новый уровень. Дело в том, что биологические мембраны имеют «жидкую» структуру и являются активной динамичной системой, в которой как липиды, так и белки обладают довольно большой свободой движения [15]. Вода составляет около 20% всей массы мембраны и оказывает существенное влияние на структурную организацию липидного бислоя, а также на молекулярную подвижность ее отдельных компонентов.

Поэтому понятно, какие заманчивые перспективы для биологии и медицины открывают рент-

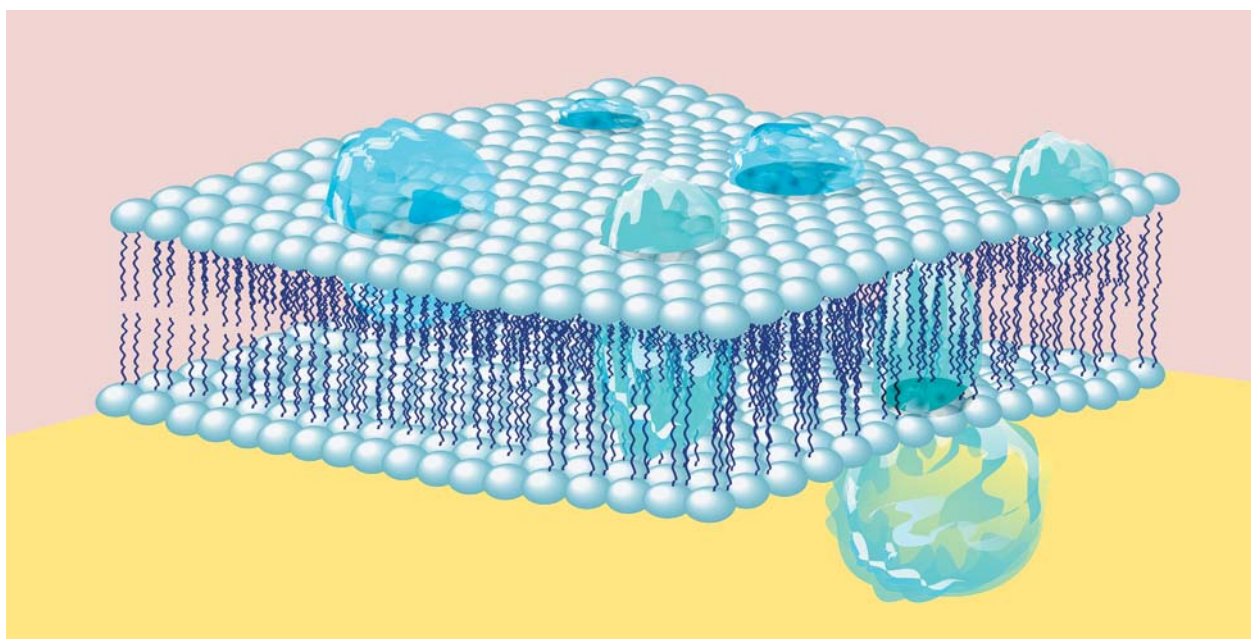


Рис.6. Модель клеточной мембраны. Согласно современным представлениям, клеточные мембраны построены из двойного слоя молекул липидов, в котором располагаются белковые макромолекулы.

геновские исследования белково-липидных пленок на поверхности жидкости. Ведь в таких экспериментах мы получаем уникальную возможность изучать модели клеточных мембран в условиях, наиболее приближенных к естественным условиям их функционирования в живых клетках. И хотя рентгеновские измерения на жидкости представляют собой исключительно трудную задачу, это именно тот случай, когда затраченные усилия окупаются сторицей, поскольку так мы можем проникать в сущность чрезвычайно сложных биологических явлений, задавая все новые «вопросы природе».

Отклоняем рентгеновский пучок

Осуществить рентгеновские исследования на жидкости удалось сравнительно недавно — в начале 1980-х годов. Такие эксперименты проводят на специальных установках — рентгеновских дифрактометрах, оборудованных ленгмюровской ванной. Ленгмюровская ванна представляет собой кювету, заполненную жидкостью, на поверхности которой формируют молекулярную пленку. Измерения выполняют в геометрии полного внешнего отражения рентгеновских лучей, при этом в роли рентгеновского зеркала выступает жидкость.

Главные трудности рентгеновских измерений на жидкости связаны с необходимостью наклонять рентгеновский пучок к поверхности (рис.7). Дело в том, что в рентгеноструктурных исследованиях твердотельных образцов угловые зависимости коэффициента отражения получают, поворачивая образец относительно пучка. В измерениях же на жидкости положение образца (ленгмюровской ванны) должно оставаться горизонтальным, поэтому здесь для изменения угла приходится отклонять

падающий пучок от горизонтальной плоскости. Сегодня на различных источниках синхротронного излучения работают девять экспериментальных станций, предназначенных для проведения рентгеновских измерений на жидкости, и на большинстве из них для управления пространственным положением рентгеновского пучка используется рентгенооптическая схема, предложенная Алс-Нельсоном. В этом случае пучок отклоняется кристаллом-дефлектором, который находится в дифракционном положении. Кристалл вращают вокруг пучка с сохранением условий дифракции. Поворот дефлектора вокруг пучка приводит к отклонению плоскости дифракции от ее горизонтального положения, в результате дифрагированный пучок смещается относительно горизонтальной плоскости и движется по поверхности конуса с углом раствора $4\theta_w$. Чтобы обеспечить такое сложнейшее перемещение кристалла-дефлектора в пространстве, приходится использовать высокопрецизионное гониометрическое оборудование, ведь отклонение плоскости вращения кристалла-дефлектора не должно превышать $2-3''$!

В 2006 г. в нашей стране на Курчатовском источнике синхротронного излучения была введена в действие станция «Ленгмюр» для исследований тонких пленок на жидкости (рис.8). На этой станции используется более простая рентгенооптическая схема с использованием двух плоских зеркал, работающих на эффекте полного внешнего отражения [16]. Первое кварцевое зеркало отклоняет пучок вверх под углом порядка $300''$ и используется для формирования пучка, второе зеркало — рабочее, имеет вольфрамовое покрытие и служит для наклона пучка к поверхности жидкости. Разность критических углов для используемых материалов зеркал позволяет производить изменение угла в диапазоне $2\theta_w$ (θ_w — критический угол полного внешнего отражения для воды).

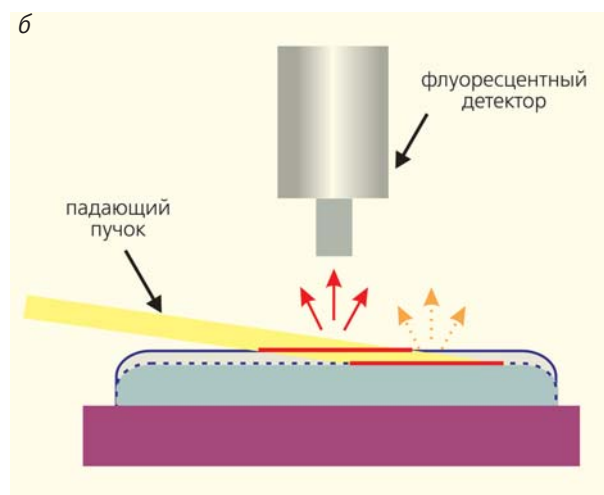
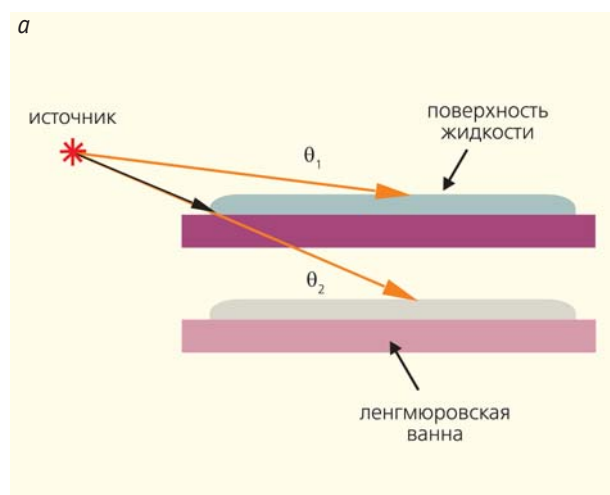


Рис.7. Смещение положения области засветки рентгеновским пучком на поверхности жидкости: при изменении угла θ (а); из-за испарения жидкости (б).

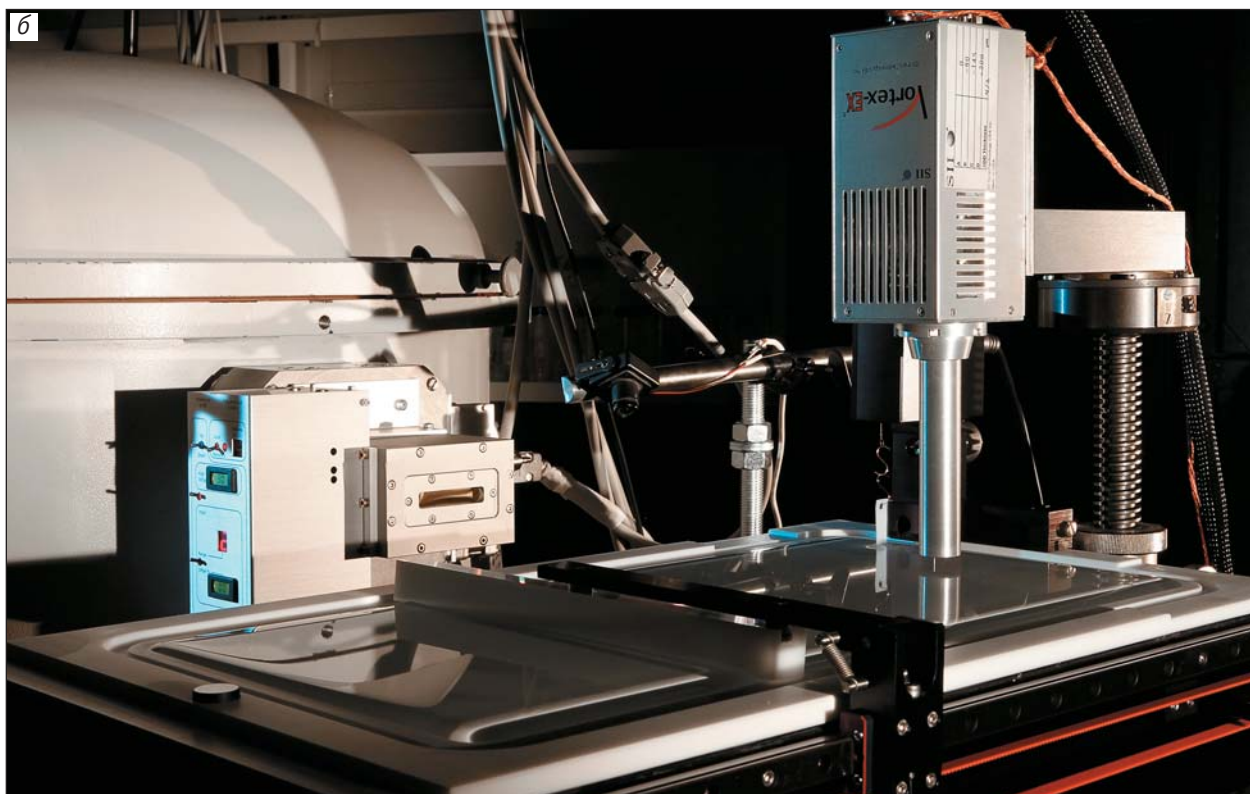
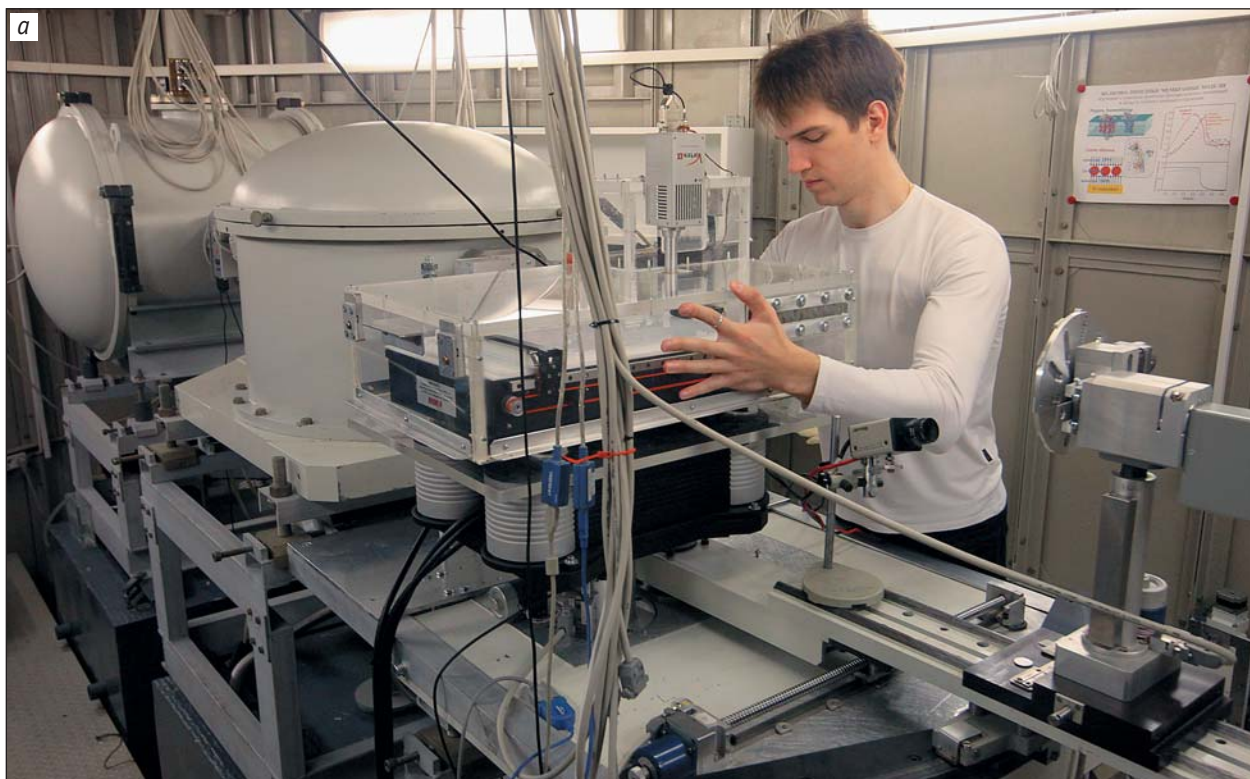


Рис.8. Экспериментальная станция «Ленгмюр» на Курчатковском источнике синхротронного излучения: общий вид станции (а); блок формирования образца (б). На последнем фото видна ленгмюровская ванна — тефлоновая кювета, заполненная жидкостью, на поверхности которой с помощью подвижного барьера формируют молекулярную пленку. Ванна расположена на устройстве активной антивибрационной защиты.

Фото А.А.Цыгановой

Общая проблема, возникающая в каждой из упомянутых выше рентгенооптических схем, связана с тем, что при изменении угла падения заметно меняется положение области засветки рентгеновским пучком на поверхности жидкости (рис.7,а). Поэтому в таких измерениях после каждого шага, изменяющего наклон рентгеновского пучка, приходится корректировать положение ванны по высоте: зная геометрические параметры станции, можно рассчитать, насколько следует поднять или опустить ванну, чтобы область засветки на поверхности жидкости не сдвигалась. Дополнительная трудность измерений с помощью метода СРВ — уменьшение уровня жидкости из-за испарения — приводит к смещению области засветки относительно носика флуоресцентного детектора, так что в результате она может уйти за пределы видимости детектора (рис.7,б).

Первые шаги на жидкости

Изучение молекулярных слоев на поверхности жидкости с помощью метода СРВ потребовало адаптации этой экспериментальной методики для подобных систем, проверки ее способности локализовать те или иные атомы внутри слоя. Прежде всего необходимо было экспериментально доказать, что угловая зависимость выхода флуоресценции от мономолекулярного слоя на жидкости будет иметь форму, модулированную сложным распределением интенсивности волнового поля СРВ. Первые результаты, достигнутые на этом пути, представлены в [17]. В качестве модельных объектов для этих измерений были выбраны достаточно простые поверхностно-активные органические соединения, которые формируют стабильные, плотноупакованные и упорядоченные слои на поверхности жидкости, — металлозамещенные фталоцианины и полиорганосилоксаны. Фталоцианины представляют собой дискообразные макроциклические молекулы, к которым можно присоединить заместители различной химической структуры. Циклолинейные полиорганосилоксаны относятся к классу кремнийсодержащих полимеров, мономер полиорганосилоксана представляет собой двенадцатичленное кольцо.

На рис.9 показаны первые угловые зависимости выхода флуоресценции от органических монослоев, сформированных на жидкости. Математическая обработка экспериментальных данных позволила определить расстояние между атомами-источниками флуоресцентного излучения и поверхностью воды: атомами металла для монослоя металлозамещенных фталоцианинов и атомами кремния для монослоя полиорганосилоксанов. Это дало возможность установить тип упаковки органических молекул в монослое. Оказалось, что в монослое фталоцианинов макроциклы молекул были расположены перпендикулярно

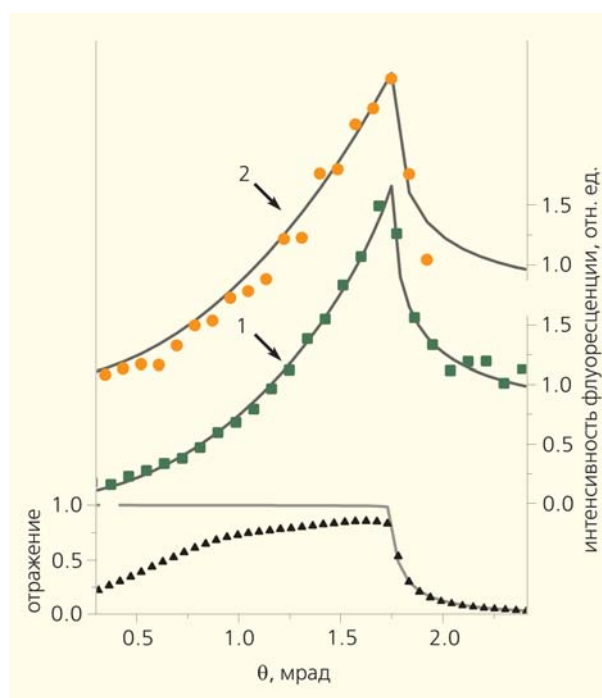


Рис.9. Кривые выхода флуоресценции от монослоев на поверхности выхода: кривая 1 — угловая зависимость флуоресценции от атомов олова, расположенных в центре макроцикла молекул металлозамещенного фталоцианина; кривая 2 — угловая зависимость флуоресценции от атомов кремния, присутствующих в молекулах полиорганосилоксана. Нижняя кривая — рентгеновское отражение. Точки — экспериментальные данные, сплошные линии — расчет.

к поверхности воды. А в монослоях полиорганосилоксанов полимерные кольца молекул лежали на поверхности жидкости «плашмя». Однако следует подчеркнуть, что главной целью этих экспериментов было решение аппаратно-методических задач, связанных с адаптацией метода СРВ для измерений молекулярных пленок на жидкости. Поэтому самым важным их результатом стал положительный ответ на принципиальный вопрос — можно ли использовать метод СРВ для изучения отдельных молекулярных слоев, сформированных на жидкости.

Усложняем задачу

Первые исследования белково-липидных пленок на жидкости методом СРВ были выполнены в работе [18]. В этих экспериментах решалась задача изучения процессов самоорганизации, протекающих в биоорганических наносистемах в условиях, когда белковые и липидные молекулы находятся в подвижном состоянии и сохраняют свою нативную конформацию.

Важно отметить, что белково-липидные пленки — труднейший с точки зрения рентгеновских

исследований объект. Ведь формирование стабильного белково-липидного слоя на поверхности воды — это настоящее искусство. Проблема состоит в том, как удержать белковые молекулы на поверхности жидкости, не дав им «утонуть» и не допуская их денатурации. Чтобы сформировать пленку на основе щелочной фосфатазы, в работе [18] была использована достаточно сложная процедура: сначала на поверхность жидкости был нанесен монослой фосфолипида дипальмитоилфосфатидилхолина (DPPC), а затем под этот монослой с помощью шприца вводили раствор, который представлял собой смесь щелочной фосфатазы и другого фосфолипида — фосфатидилинозитола.

Щелочная фосфатаза относится к классу металлоферментов: в активных центрах находятся четыре иона цинка. С точки зрения рентгенофлуоресцентных измерений эти ионы оказывают своего рода метками для белковых молекул. Для молекул фосфолипидов такими метками служат ионы фосфора, которые содержатся в полярных головках молекул фосфолипидов. Угловые зависимости выхода флуоресценции от ионов цинка и фосфора представлены на рис.10. Рассматривая эти экспериментальные данные, необходимо учесть, что из-за резкого увеличения глубины проникновения падающего рентгеновского пучка в воду в области углов $\theta > \theta_w$ катастрофически рас-

тет интенсивность фона. В результате уже вблизи θ_w очень слабые «полезные» флуоресцентные пики перестают быть различимыми. Этим объясняется то обстоятельство, что экспериментальные угловые зависимости на рис.10 обрываются при $\theta > \theta_w$. Тем не менее даже качественное сравнение этих кривых позволяет сделать ряд важных заключений о молекулярной организации биоорганической наносистемы. Действительно, существенные отличия формы угловых зависимостей выхода флуоресценции от фосфора и цинка указывают на различие в местоположении этих ионов внутри белково-липидной пленки. А это означает, что молекулы фосфолипидов и щелочной фосфатазы образуют отдельные неперемешивающиеся слои.

На основе данных результатов можно предположить, что после нанесения белково-липидной смеси под монослой фосфолипида DPPC произошло самопроизвольное расслоение этой биоорганической системы. При этом молекулы фосфолипида фосфатидилинозитола образовали агрегатные структуры типа мицелл под слоем DPPC, а белковые молекулы самоорганизовались в отдельный слой, не содержащий фосфолипидных молекул. Часть молекул фосфолипида ушла под слой белка. Важное значение этих результатов состоит в том, что здесь метод стоячих рентгеновских волн позволил провести исследования *in situ* процессов самоорганизации в сложных белково-

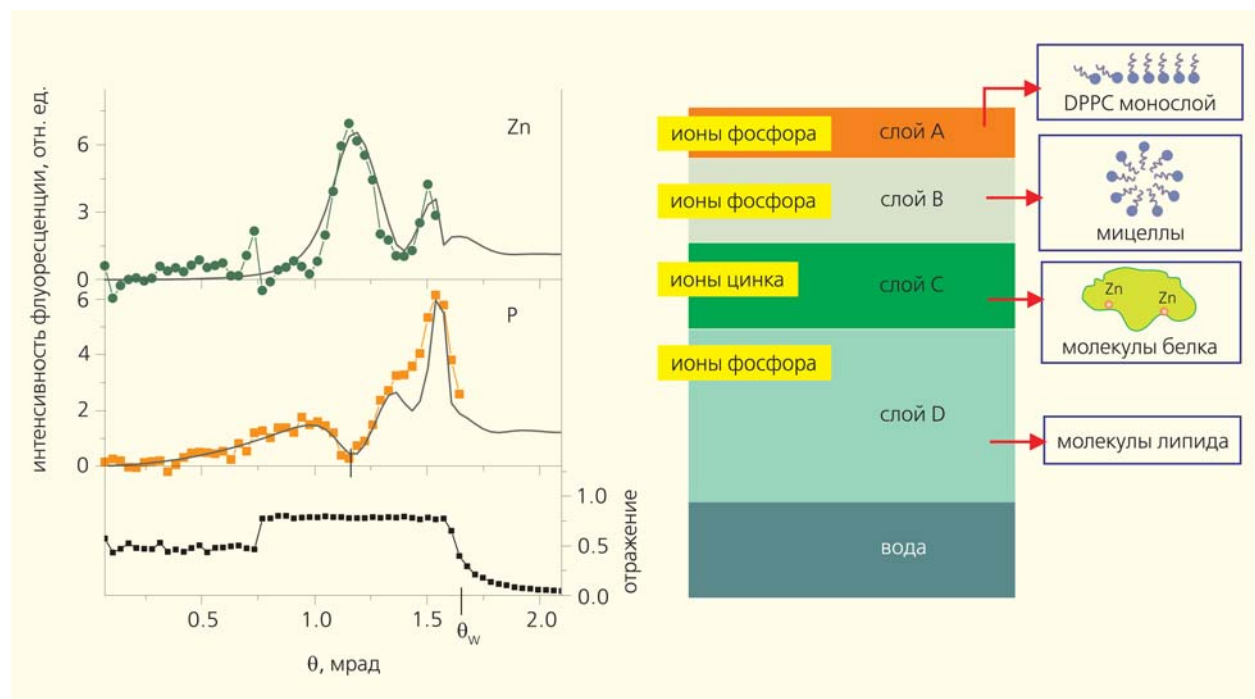


Рис.10. Угловая зависимость выхода флуоресценции от белково-липидной пленки на основе смеси щелочной фосфатазы и фосфолипида фосфатидилинозитола. Нижняя кривая — экспериментальная угловая зависимость рентгеновского отражения. Точки — экспериментальные данные, сплошные линии — расчет. Наилучшее совпадение теоретических кривых с экспериментальными данными было получено для модели пленки, состоящей из четырех слоев, причем в этой слоистой системе ионы цинка присутствуют только в слое С. Ионы фосфора содержатся в слоях А, В и D, в слое С их нет.

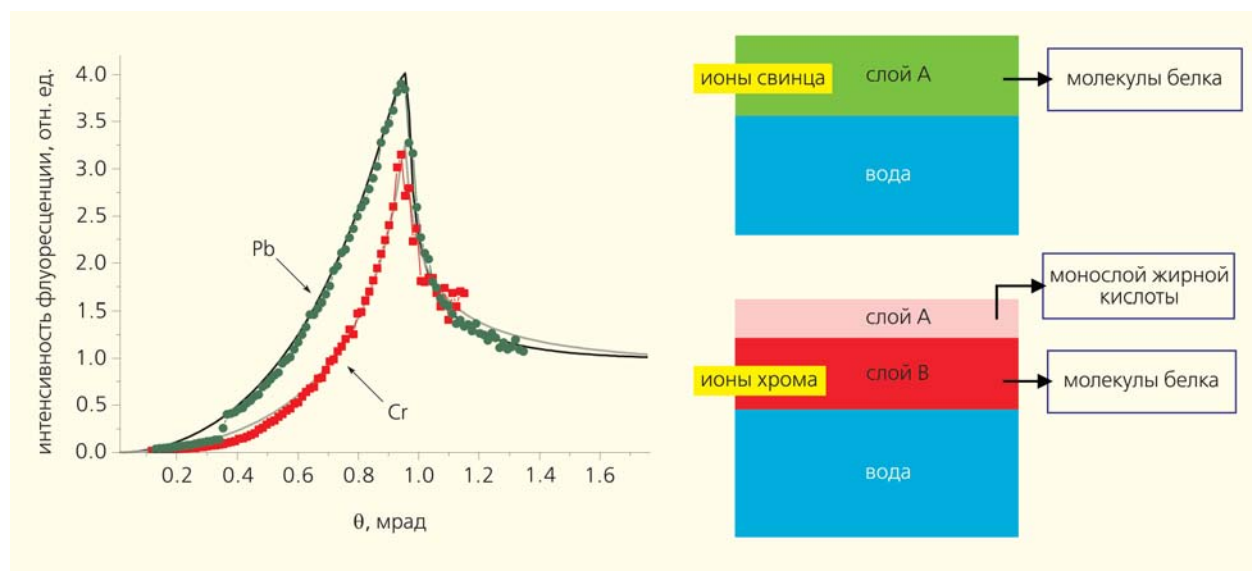


Рис.11. Угловая зависимость выхода флуоресценции от белково-липидных пленок на основе глюкозооксидазы, обработанной растворами солей свинца или хрома. Точки — экспериментальные данные, сплошные линии — расчет.

липидных наносистемах. Такие тонкие эксперименты возможны только в том случае, когда мы проводим измерения на жидкости, т.е. в условиях, когда белковые и липидные молекулы сохраняют свою подвижность.

Еще более серьезная задача — изучать поведение белково-липидных пленок в условиях, моделирующих различные патологические воздействия на клетку. Так можно пытаться понять механизмы повреждения клеточных мембран на молекулярном уровне. Решению именно этих сложных вопросов была посвящена работа [19], в которых метод СРВ был применен, чтобы исследовать процессы нарушения структурной организации белково-липидных пленок под действием тяжелых металлов (свинца и хрома).

Для формирования белково-липидной пленки был использован метод адсорбции белка на монослой поверхности-активного соединения: в этом случае водный раствор глюкозооксидазы наливали в лэнгмюровскую ванну. А затем на поверхность этой субфазы, содержащей молекулы белка, наносили монослой бегеновой кислоты. При растворении глюкозооксидазы в рабочий раствор белка добавляли соли свинца (ацетат свинца (II)) или хрома (хлорид хрома (III)). С точки зрения измерений методом СРВ ионы этих металлов, связанные белковыми молекулами, служили метками для белковых молекул. Соответствующие угловые зависимости выхода флуоресценции (рис.11) имеют классическую форму, которая наблюдается в том случае, когда атомы-источники флуоресцентного излучения расположены в тонком слое вблизи отражающей поверхности. Отсюда сразу же следует важный вывод: в обоих случаях белковые молекулы, которые присутствуют в водной

субфазе, сформировали тонкий слой у поверхности жидкости.

Несмотря на общее сходство угловых зависимостей выхода флуоресценции от ионов свинца и хрома, на рис.11 хорошо видны различия этих кривых в угловой области $0 < \theta < \theta_c$: кривая выхода флуоресценции от свинца проходит заметно выше, чем кривая от хрома. Это объясняется тем, что в белково-липидной пленке на основе глюкозооксидазы, обработанной раствором хрома, белковые молекулы присутствуют в слое, который расположен глубже от границы раздела воздух/пленка. Анализ экспериментальных кривых выхода флуоресценции позволил установить характер молекулярной организации пленок более точно. После обработки раствором свинца молекулы глюкозооксидазы встраивались в монослой бегеновой кислоты, образуя рыхлый слой непосредственно на границе раздела воздух/пленка; после обработки раствором хрома белковые молекулы располагались под монослоем бегеновой кислоты.

Эти различия в молекулярной организации белково-липидных пленок очень важны, ведь они обусловлены изменениями белково-липидных взаимодействий, вызванных конформационными перестройками белковых молекул. Так, под действием свинца могло произойти частичное разрушение нативной конформации белковой молекулы, при этом число гидрофобных участков на поверхности молекулы увеличилось и молекулы глюкозооксидазы начали встраиваться в гидрофобную область липидного слоя. При обработке глюкозооксидазы раствором хрома изменения конформации белковых молекул, по-видимому, оказались не столь существенными и белковые молекулы концентрировались под монослоем бе-

геновой кислоты, не повреждая сам монослой. Полученные в этих экспериментах результаты наглядно демонстрируют возможности метода СРВ для изучения процессов разрушения клеточных мембран при различных неблагоприятных воздействиях.

* * *

Блестящие перспективы использования рентгеновских лучей для изучения атомарного строения материи ученые осознали практически сразу после открытия дифракции рентгеновских лучей в 1912 г. Сегодня благодаря созданию принципно-

ально новой экспериментальной техники значительно расширился класс объектов, доступных для рентгеновских исследований: стало возможным применить всю мощь современных высокопрецизионных рентгеновских методов для структурной диагностики таких исключительно трудных объектов, как биоорганические наносистемы. Эти исследования находятся пока на стадии становления, тем не менее уже сейчас стало понятно, что развитие нового направления обещает настоящий прорыв как в области фундаментальных наук (в первую очередь молекулярной биологии), так и в современных биотехнологиях. ■

Литература

1. Ковальчук М.В. Наука и жизнь: моя конвергенция. В 2 т. М., 2011.
2. Ковальчук М.В., Кон В.Г. Рентгеновские стоячие волны — новый метод исследования структуры кристаллов // УФН. 1986. Т.149. С.69—103.
3. Ковальчук М.В., Кон В.Г. Стоячая волна рентгена // Наука и жизнь. 1986. №7. С. 25—32.
4. Vartanyantz I.A., Kovalchuk M.V. Theory and applications of X-Ray standing waves in real crystals // Rep. Prog. Phys. 2001. V.64. P.1009—1084.
5. Ковальчук М.В., Желудева С.И., Носик В.Л. Рентгеновские лучи от объема к поверхности // Природа. 1997. №2. С.54—69.
6. Щемелев В.Н., Круглов М.В., Пронин В.П. Угловая зависимость внешнего рентгеновского фотоэффекта в совершенных монокристаллах германия и кремния // ФТТ. 1970. Т.12. Вып.8. С.2495—2499.
7. Afanas'ev A.M., Kovalchuk M.V., Kov'ev E.K. et al. Photoemission as a method for investigating the structure of surface layers // Phys. Stat. Sol. (a). 1977. V.42. P.415—422.
8. Bedzyk M.J., Materlik G., Kovalchuk M.V. Depth-selective X-ray standing wave diffraction analysis // Phys. Rev. 1984. V.B30. P.4881—4884.
9. Bedzyk M. New trends in X-ray standing waves // Nuc. Instr. Meth. In Phys. Res. A. 1988. V.266. P.679—683.
10. Желудева С.И., Ковальчук М.В., Лагомарзино С. и др. Наблюдение эванесцентной и стоячей рентгеновских волн в области полного внешнего отражения от молекулярных слоев Лэнгмюра—Блоджетт // Письма в ЖЭТФ. 1990. Т.52. Вып.3. С.804—808.
11. Zbeludeva S.I., Kovalchuk M.V., Novikova N.N. et al. X-Ray total external reflection fluorescence study of LB films on solid substrate // J. Phys. D.: Appl.Phys. 1993. V.26. P.A202—A205.
12. Zbeludeva S.I., Kovalchuk M.V., Novikova N.N. et al. Ion permeation through Langmuir-Blodgett layers investigated by total external reflection and fluorescence study // Materials Science and Engineering: C 3. 1995. P.211—214.
13. Novikova N.N., Yur'eva E.A., Zbeludeva S.I. et al. X-ray fluorescence methods for investigations lipid/protein membrane models // J. Synchrotron Rad. 2005. V.12. P.511—516.
14. Novikova N.N., Zbeludeva S.I., Kovalchuk M.V. et al. Investigation of molecular mechanisms of action of chelating drugs on protein-lipid model membranes by X-ray fluorescence // Crystallography Reports. 2009. V.54. №7. P.1208—1213.
15. Геннис Р. Биомембраны: Молекулярная структура и функции. М., 1997.
16. Лидер В.В., Терещенко Е.Ю., Желудева С.И. и др. Блок управления пространственным положением рентгеновского пучка экспериментальной синхротронной станции «Ленгмюр» // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2004. №7. С.5—14.
17. Novikova N.N., Zbeludeva S.I., Konovalov O.V. et al. Total reflection X-ray fluorescence study of Langmuir monolayers on water surface // J. Appl. Cryst. 2003. V.36. P.727—731.
18. Zbeludeva S., Novikova N., Steptina N. et al. Molecular organization in protein-lipid film on the water surface studied by X-ray standing wave measurements under total external reflection // Spectrochimica Acta B. 2008. V.63. P.1339—1403.
19. Новикова Н.Н., Ковальчук М.В., Степина Н.Д. и др. Спектрально-селективные рентгеновские методы для структурной диагностики упорядоченных биоорганических наносистем на поверхности жидкости // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2011. №9. С.6—11.

Трансмиссивные клоны злокачественных клеток

Г.А.Белицкий, М.Г.Якубовская

Вопрос о возможности заражения злокачественной опухолью долгое время оставался открытым. Попытки ее переноса из одного организма в другой начались более полутора веков назад. Тогда иммунология еще не родилась, и исследователи, ничего не зная о законах совместимости тканей, прививали опухоли человека разного рода животным, а опухоли животных одного вида особям других видов.

Первые в мире успешные прививки опухоли провел Мстислав Александрович Новинский в 1875—1877 гг. в ветеринарном отделении Медико-хирургической академии Санкт-Петербурга. Трансплантируя венерическую саркому одной собаки другим, он сделал главный вывод: эта злокачественная опухоль переносится только живыми клетками [1]. Последнее было особенно важно, так как выделяло рак из инфекционных заболеваний, возбудителей которых после работ Роберта Коха и Луи Пастера открывали один за другим.

Удача сопутствовала Новинскому благодаря не только собственному таланту экспериментатора и эрудиции его научных руководителей (В.Е.Воронцова и М.М.Руднева), но и правильно выбранному объекту исследования. Он работал с опухолью, к тому времени уже хорошо известной ветеринарам как зараз-



Геннадий Альтерович Белицкий, доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории механизмов химического канцерогенеза Российского онкологического научного центра им.Н.Н.Блохина» РАМН.

Марианна Геннадиевна Якубовская, доктор медицинских наук, заведующая отделом химического канцерогенеза того же научного центра.

Основные научные интересы связаны с экспериментальной онкологией и молекулярными механизмами химического канцерогенеза.

ное заболевание. Изучение венерической саркомы собак продолжается и сегодня благодаря ее уникальным особенностям, позволившим ей распространиться среди собак на всем земном шаре.

В потоке новых знаний часто забывается старое, равно как и имена тех, кто своим трудом это «старое» добыл. Это в полной мере относится и к Новинскому, жизнь которого типична для многих первооткрывателей. Сын сельского священника, он

по воле отца окончил духовное училище и семинарию. Но, прослужив три года священником, он в 1870 г. поступил на ветеринарное отделение Медико-хирургической академии Санкт-Петербурга, которое окончил, «оказав отличные успехи в науках» и получив право на двухгодичное усовершенствование при академии. За два года он выполнил на золотую медаль работу о роли нервов в заживлении ран и диссертацию «К вопросу о прививании злокачественных



Магистр ветеринарных наук М.А.Новинский (1841—1914).

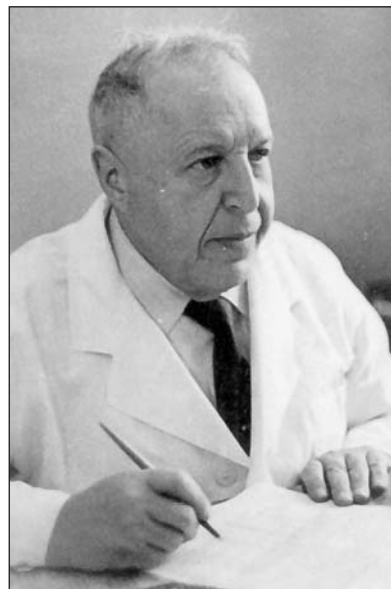
новообразований (экспериментальное исследование)».

Ученый совет ходатайствовал о командировании Новинского за границу, после чего он вошел бы в число руководителей Медико-хирургической академии. Однако всемогущая бюрократия в лице Главного военно-медицинского управления в просьбе

отказала. Вместо Германии молодого специалиста отправили в казачий полк на должность ветеринарного врача. По окончании службы он смог найти работу лишь на скотопригонном дворе железной дороги, поскольку ветеринарное отделение в Медико-хирургической академии к тому времени уже ликвидировали. Прожил Новинский почти 73 года и умер в 1914 г. от «грудной жабы» (стенокардии), которая часто «награждает» людей, чей талант остался невостребованным.

Имя Новинского и его приоритетные исследования извлек из небытия Л.М.Шабад, создатель школы экспериментальной онкологии в нашей стране*. В конце 1940-х годов, будучи сам обвиненным в вирховианстве и прочих смертных грехах того недоброго времени и не имея возможности заниматься экспериментальной работой в полную силу, он возродил приоритет Новинского: нашел все материалы о нем, его диссертацию и портрет, и написал книгу

* См.: Левина Е.С. История жизни незаурядного человека // Природа. 2011. №7. С.87—90.



Основатель школы экспериментальной онкологии в СССР Л.М.Шабад (1902—1982). Из архива Г.А.Белицкого.

о родоначальнике экспериментальной онкологии, которая вышла в серии «Научные биографии» в 1950 г. [2].

Венерическая саркома собак

Обычно злокачественная опухоль, возникшая из клеток хозяина, умирает вместе с ним. Но клетки венерической саркомы после своего возникновения не погибли, а передавались не менее 30 тыс. раз от одного животного другому. Эта опухоль — древнейший моноклон, т.е. потомство одной злокачественной клетки, которая, судя по динамике изменения структуры ДНК, впервые возникла у волка или собаки восточносибирского ареала, вероятно, около 6000 лет назад [3, 4]. Видимо, популяция, в которой появилась опухоль, обитала на ограниченном пространстве и потому из-за неизбежного инбридинга была генетически однородной [5]. Сохранность опухоли во времени и повсеместное ее распространение связаны с особенностями течения заболевания. Ве-



Титульный лист книги «М.А.Новинский — родоначальник экспериментальной онкологии».

венерическая саркома передается половым путем и локализуется главным образом на половых органах (рис.1). Латентный период длится до 6 мес., затем несколько недель опухоль интенсивно растет, иногда метастазируя в лимфатические узлы и внутренние органы. В большинстве случаев спустя еще несколько месяцев она спонтанно рассасывается, после чего развивается пожизненный иммунитет. Переливание сыворотки переболевшей собаки создает у реципиента пассивный иммунитет. Таким образом, локализация в области тесного контакта с половым партнером, а также длительность и относительная доброкачественность течения позволяют переносить опухоль на многих особей. Вероятно, опухоль долго сохраняется еще и потому, что не прогрессирует в злокачественности. Считают, что доживший до нашего времени вариант клона отобрался из ряда более злокачественных, быстро убивавших своих хозяев.

В естественных условиях венерическая саркома поражает собак любой породы, а в эксперименте перевивается также на койотов, шакалов и лисиц, т.е. на все семейство псовых (Canidae). Согласно современным данным, предшественник инфекционного клона — трансформировавшийся макрофаг, одна из клеток белой крови. И сегодня опухоль продуцирует белки, характерные для этого типа клеток. Кроме того, на ней может паразитировать одна из разновидностей лейшманий — простейший паразит, избирательно поражающий макрофаги.

Клетки венерической саркомы собак отличаются от нормальных рядом особенностей: в нормальных — 78 хромосом, а в опухолевых их 59, но кариотип опухоли стабилен и одинаков у собак всех континентов. Универсальный диагностический маркер опухолевых клеток — ретротранспозон LINE-1, присутствующий в районе он-

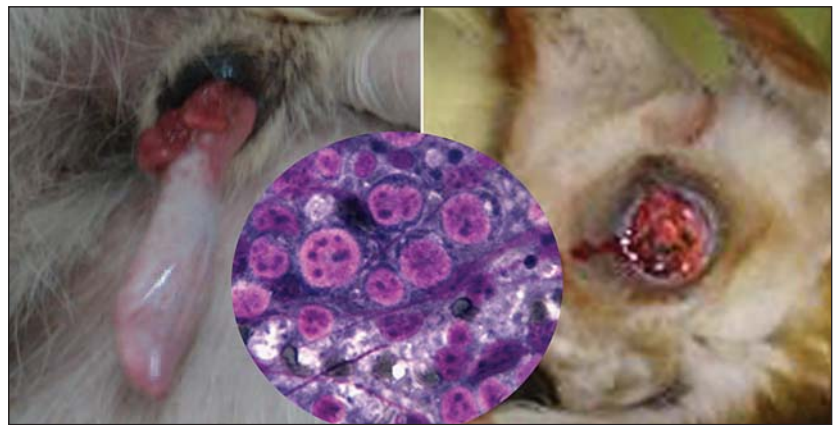


Рис.1. Венерическая саркома собак на половых органах самца (слева) и самки (справа); в центре — гистологическая картина опухоли.

<http://www.hvosty.ru/forum/viewtopic.php?f=2&t=4818&start=810>

когена *c-myc* [4, 5]. Характеристики главного комплекса гистосовместимости опухолевых клеток также одинаковы и отличаются от аналогичных характеристик клеток хозяина (рис.2). Транспозоны (мобильные последовательности ДНК), перемещаясь внутри генома, наряду с другими процессами вызывают мутации и хромосомные перестройки. При этом клетки могут становиться злокачественными в результате активации протоонкогенов (в данном случае это ген *c-myc*, который превратился в активный онкоген), инактивации супрессоров опухолевого роста или иных процессов, обеспечивающих нормальное поведение клетки. Рет-

ротранспозон LINE-1 в районе онкогена *c-myc* мог появиться не только в ходе эволюции клона, но и находиться в половых клетках животного, у которого этот клон возник (рис.3). У современных собак встраивание ретротранспозонов в этот локус ДНК не наблюдали, а выяснить вероятность такого события в прошлом нельзя. Данных об активации в этой опухоли других протоонкогенов или инактивации супрессоров пока нет.

Геном венерической саркомы собак отличается множеством генетических вариаций (дупликаций и делеций), отсутствующих в нормальных клетках. Возможно, такие изменения отражают процесс адаптации,

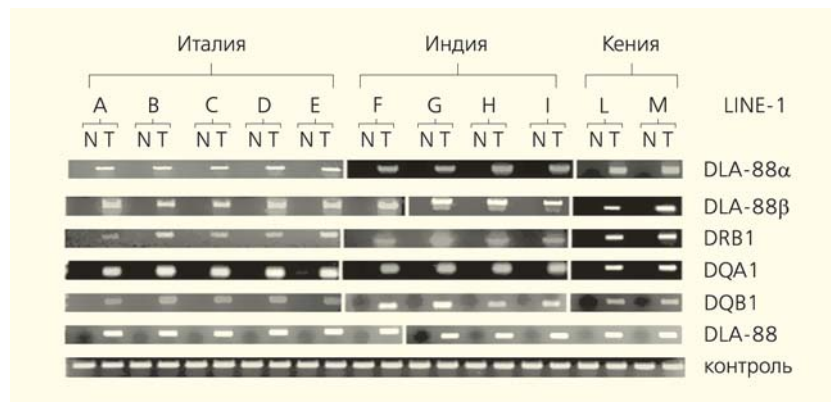


Рис.2. Маркеры ретротранспозона LINE-1/*c-myc* и генов основного комплекса гистосовместимости (DLA, DRB, DQA и DQB) в крови 11 собак и в клетках их опухолей. А—М — животные с опухолью; N — нормальные клетки, Т — опухолевые [4].

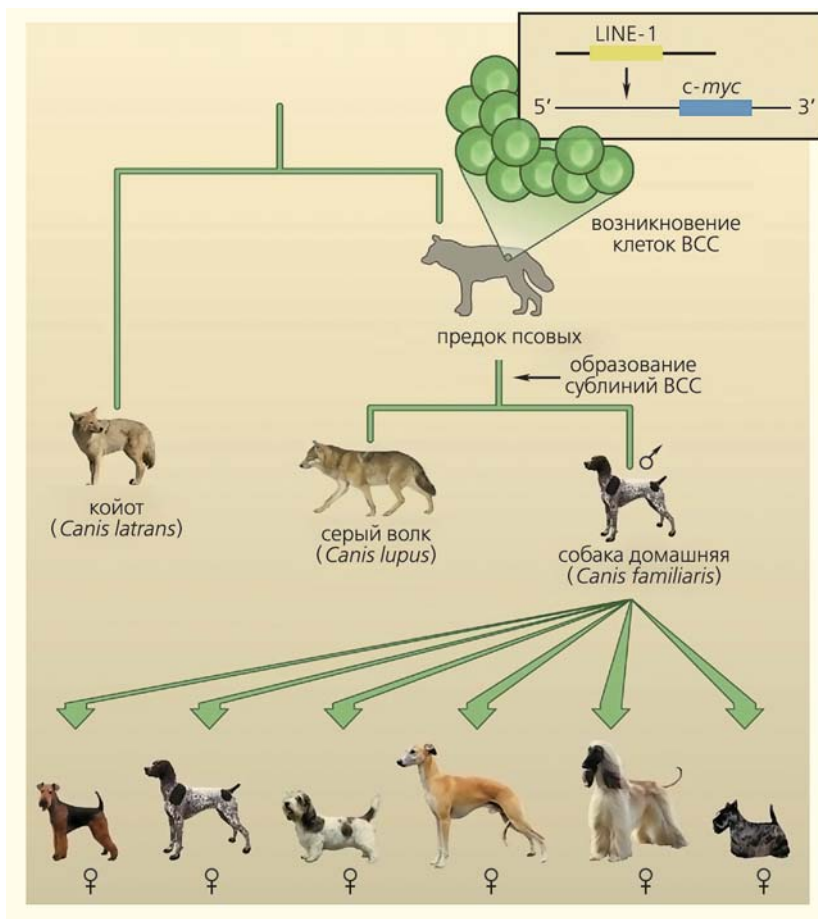


Рис.3. Происхождение венерической саркомы собак (ВСС) [5].

поскольку опухоль переносилась на новых хозяев много тысяч раз и должна была приспособиться к новым условиям, отбирая подходящие варианты. Клон, сформировавшийся к настоящему времени, исключительно стабилен. Об этом говорит и идентичность гаплотипов, т.е. совокупности аллелей на участках одной хромосомы, обычно наследуемых вместе. Примером служит наиболее полиморфная группа генов главного комплекса гистосовместимости собак DLA (dog leucocyte antigen), обеспечивающая распознавание и отторжение чужеродных белков. Сюда относится ген I класса DLA-88, а также три гена II класса — DRB1, DQB1, DQA1. Ген DRB1 имеет две аллели — 04101 североамериканского волка и 04701 шакалов Аляски и Сибири, отличающихся

друг от друга одним нуклеотидом, из-за чего изменяется кодируемая аминокислота. В нормальных клетках собак аналогичные гаплотипы значительно разнятся в зависимости от породы и места обитания животного [3]. Генотипирование 21 микросателлита (коротких повторяющихся фрагментов ДНК различной локализации) дало аналогичные результаты. Расхождение по этому признаку в опухолевых клетках было минимальным по сравнению с нормальными клетками собак различной породы, имеющих эти опухоли (рис.4).

Тот факт, что генетическая структура опухолевых клеток сохраняется при переносе на самые различные породы собак, свидетельствует о ее устойчивости против гибридизации с клетками хозяина, характер-

ной для некоторых других опухолей. Единственный тип обмена между организмами носителей и опухолью — захват опухолевыми клетками нормальных митохондрий, видимо, заменяющих деградировавшие.

Вторжение чужеродных клеток в здоровый организм вызывает реакцию отторжения, которую регулирует упоминавшийся выше главный комплекс гистосовместимости МНС (major histocompatibility complex). В нем различают два класса — МНС I и МНС II. В системе распознавания свой—чужой первый ответствен за показ цитотоксическим лимфоцитам (надзирающим Т-клеткам) пептидных меток клетки. Есть классические и неклассические гены МНС I: первые представляют собственные и чужеродные антигены, вторые могут ингибировать работу классических МНС I, способствуя ускользанию чужеродных клеток от уничтожения (например, в системе мать—плод или при злокачественном росте). Комплекс МНС II активен только в В-клетках, обеспечивающих гуморальный иммунитет, т.е. выработку антител против чужеродных антигенов.

В случае венерической саркомы преимущество при иммун-

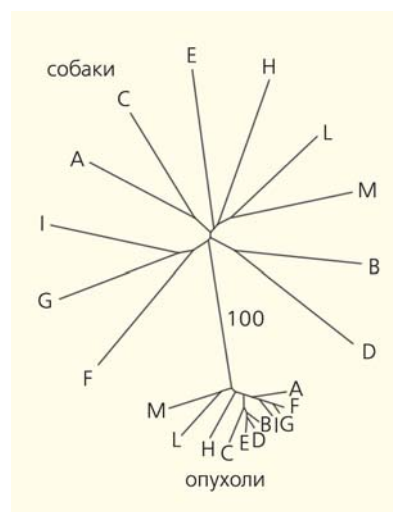


Рис.4. Дивергенция 25 микросателлитов в нормальных клетках 11 собак и в клетках их опухолей [4].

ном конфликте между опухолью и хозяином на стадии прогрессирующего роста вначале склоняется на сторону опухоли. Тогда ее клетки секретируют цитокин TGF- β 1, который подавляет экспрессию МНС I и II классов, активность натуральных киллеров и цитотоксичность Т-лимфоцитов, т.е. клеток, уничтожающих чужеродные или измененные собственные клетки. На той же стадии опухоль секретирует токсичный для В-лимфоцитов фактор, который подавляет гуморальный иммунитет. Такие свойства позволяют клону расти до момента, когда он может перейти на нового хозяина. На следующем этапе лимфоциты, инфильтрирующие опухоль, начинают секретировать интерлейкин 6 (IL 6) и цитокин I типа — интерферон γ (IFN γ), кото-

рые активируют цитотоксические клетки и продукцию противоопухолевых антител, подавляющих рост опухоли [3].

Инфекционная опухоль тасманийского дьявола

В последние десятилетия выяснилось, что трансмиссивный соматический клон, вызывающий онкологическое заболевание, не уникален. В Тасмании и Австралии обитает сумчатое плотоядное животное *Sarcophilus harrisi* размером со среднюю собаку, прозванное за свирепость тасманийским дьяволом (рис.5). В 1996 г. у животных северо-восточной Тасмании впервые обнаружили злокачественную опухоль неизвестного ранее типа. Вскоре ее рас-

пространение приняло размеры эпизоотии: к 2011 г. в отдельных регионах погибло от 60 до 90% животных, что в сумме составляет около 60 тыс. особей из 140 тыс. обитавших в разных районах до ее начала [6–9].

Опухоль локализуется на голове, шее и в ротовой полости, поскольку переносится при укусах во время драк за пищу или самок в период спаривания (рис.6). Заражение вызывает минимальное количество клеток, попавших в рану от зубов. По этому признаку опухоль тасманийского дьявола значительно более заразна, чем венерическая саркома собак (для ее переноски требуется не менее 10^8 клеток). Опухоль метастазирует в 65% случаев и в течение 6 мес. убивает всех пораженных животных [6–9].



Рис.5. Тасманийский дьявол.



Рис.6. Опухоли тасманийского дьявола [6—8].

Трансмиссивный клон, вызвавший опустошительную эпизоотию, растет и метастазирует как новообразование из недифференцированных округлых или веретеновидных клеток (рис.7). Этот клон образовался из трансформировавшегося предшественника шванновских клеток (леммоцита), которые в норме располагаются вдоль отростков нервных клеток, образуя миелиновые оболочки. В транскриптоме опухоли (полный набор молекул РНК, считываемых с ДНК) структурные гены миелина активны, что также подтверждает происхождение опухоли из шванновских клеток.

В нормальных клетках тасманийского дьявола 14 хромосом, включая половые, а в опухоли их 13. Гаплотип наследст-

венного аппарата клеток идентичен во всех опухолях и всегда отличается от хозяйского. Моноклональность опухоли подтверждается и тем, что аллели микросателлитов и локусов главного комплекса гистосовместимости в опухолях всех животных идентичны, т.е. их клоны — потомки одной первично трансформированной клетки.

Считается, что главная причина массового распространения опухоли — относительная гомогенность популяции тасманийского дьявола, эволюционировавшего на ограниченном пространстве с вытекающим отсюда близкородственным размножением. Однако этим нельзя полностью объяснить причины онкологической

эпизоотии. Дело в том, что, несмотря на беспрепятственное распространение опухоли, здоровые и больные животные имеют полноценную систему иммунитета (клеточного и гуморального). Она и не позволяет нормальным клеткам одной особи преодолеть барьер гистосовместимости другой особи (трансплантаты кожи одного животного отторгаются другим примерно за три недели после пересадки). Хотя существенных различий по главному комплексу гистосовместимости нет, так называемые малые антигены, определяющие реакцию хозяина против трансплантата, у особей заметно отличаются. Это породило надежду, что среди отловленных животных найдутся особи, резистентные

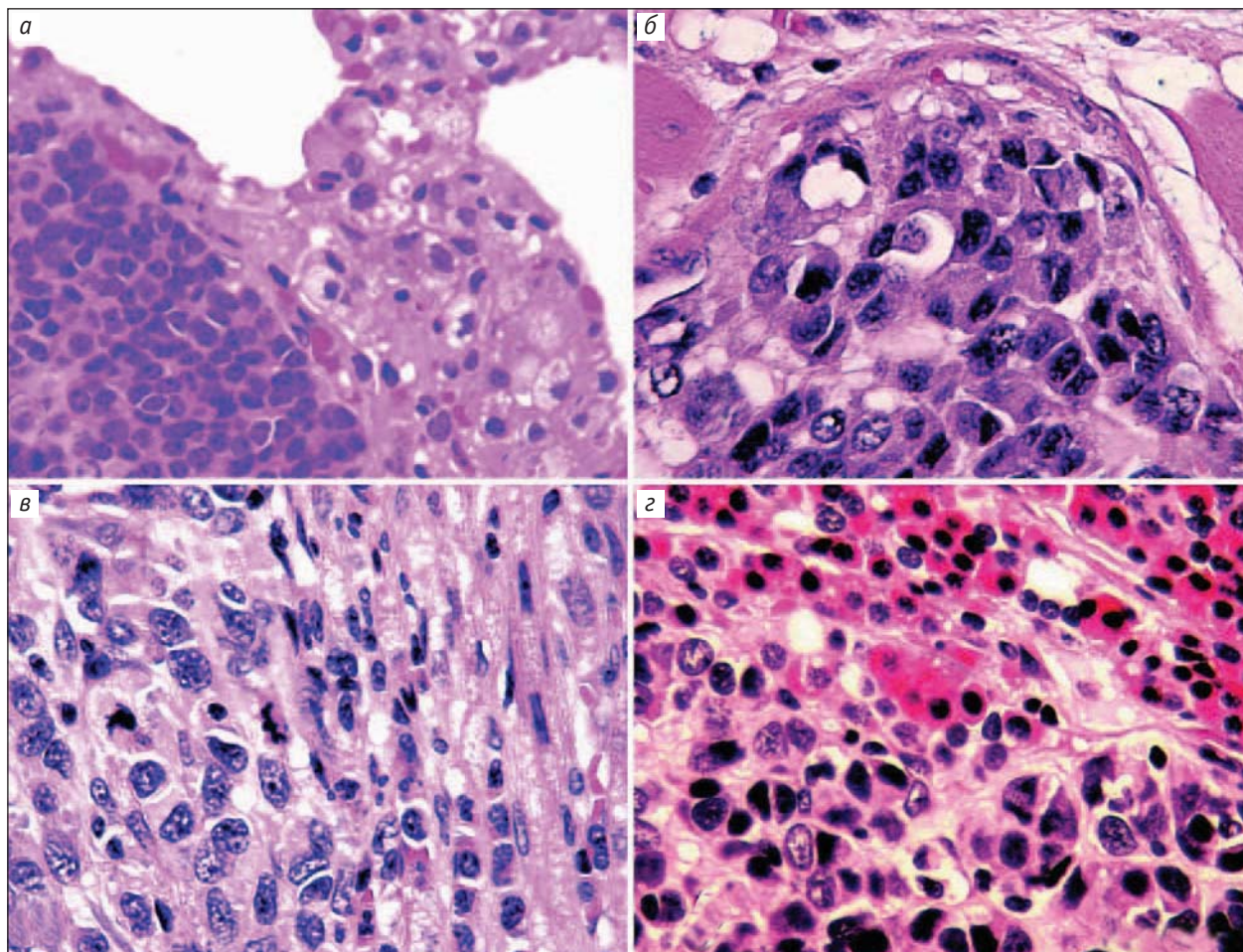


Рис.7. Гистологическое строение метастазов опухоли тасманийского дьявола. *а* — в легком; *б* — в коронарной артерии; *в* — в надпочечнике; *г* — в гипофизе [9].

к опухоли, которых можно будет размножить (пока таковых не нашли).

Математическое моделирование эпизоотии предсказывало полное уничтожение пораженной популяции в течение следующих 25–35 лет. Однако этого может и не случиться. Анализ 10 микросателлитных маркеров ДНК животных второго-третьего поколений, родившихся после начала эпизоотии, показал, что их иммунологические характеристики отличаются больше, чем у их предшественников. Кроме того, у юго-восточной, свободной от эпизоотии, популяции тасманийского дьявола несколько иной комплекс гистосовместимости, чем у пораженной, северо-восточной.

В мае 2008 г. австралийское правительство присвоило тасманийскому дьяволу статус «находящегося в опасности» (ранее Всемирный союз охраны природы оценивал его как «вызывающий наименьшие опасения»). Поскольку опухоль не излечивается ни одним из известных методов, спасти вид может только изоляция незараженных популяций. Для этого в Тасмании подготовлены соответствующие резервации, а часть здоровых животных вывезли в Австралию.

Штаммы перевиваемых опухолей грызунов

Итак, главный комплекс гистосовместимости служит основным барьером для чужеродных

клеток, в том числе и злокачественных. У инбредных животных такой барьер отсутствует, а следовательно, нет и препятствия для размножения опухолевых клеток, возникших у особи той же линии. Это первым понял еще Новинский, который, не зная законов иммунитета, написал в выводах своей диссертации: «Однородность животных составляет одно из важных условий в деле прививания».

В дальнейшем это положение легло в основу создания многочисленных штаммов перевиваемых опухолей, спонтанных или индуцированных различными агентами у лабораторных животных инбредных линий. Клетки перевиваемых опухолей при подкожном, внутрибрюшинном, внутривенном или

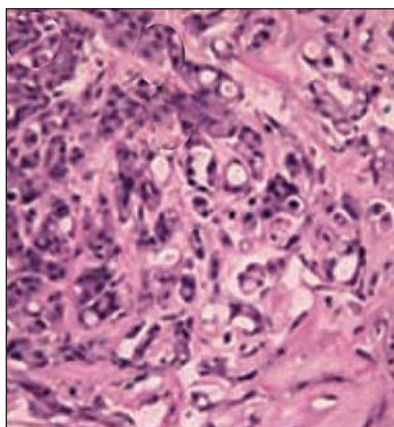


Рис.8. Рак молочной железы человека, привитый бестимусной мыши. Справа — гистологическая структура гибридной опухоли [10].

внутриорганном способе введения животным соответствующей линии размножаются беспрепятственно.

В коллекции опухолевых штаммов Российского онкологического научного центра РАМН имеется несколько десятков перевиваемых опухолей, полученных из самых различных органов и тканей. Их используют как модели соответствующих опухолей человека, а также для изучения их свойств и при испытании новых лечебных препаратов, в первую очередь химиотерапевтических. Клоны перевиваемых или поддерживаемых в культуре ткани опухолей живут намного дольше своих биологических хозяев. Так, до сих пор используется опухоль молочной железы мыши, адаптированная к переносу на беспородных мышей Паулем Эрлихом в 1905 г.

Разумеется, клетки грызунов отличаются от клеток человека, поэтому для изучения опухолей человека созданы линии мышей, у которых отсутствуют Т-клеточные иммунные реакции на чужеродные антигены. На таких бестимусных мышях, лишенных для удобства и шерстного покрова (рис.8), перевиваются любые опухоли человека и животных другого вида [10]. В настоящее время мы исследуем на бестимусных мышях чувствительность клеток лимфатических лейкозов человека к действию

нестероидных лигандов глюкокортикоидных рецепторов. Глюкокортикоиды широко используются в химиотерапии гемобластозов, однако их длительное применение в больших дозах вызывает серьезные осложнения (остеопороз, стероидный диабет, нарушения водно-солевого обмена и др.). В связи с этим идет поиск и испытание новых, свободных от этого недостатка, лигандов. Мы изучаем молекулярные механизмы действия на лейкозные клетки 2-(4-ацетоксифенил)-2-хлор-N-метилэтиламмоний хлорида, или CpдA, недавно выделенного из южноафриканского растения семейства амарантовых *Salsola tuberculatifomis*. Опухолевые клетки человека, перевитые на бестимусных мышях, беспрепятственно растут, и поэтому можно считать, что их гибель при испытании CpдA вызвана действием лишь этого агента без вмешательства иммунных сил организма мыши.

Трансмиссивная ретикулосаркома хомяка

Опухолевые клетки не могут проходить через кожу и неповрежденные слизистые оболочки. У тасманийского дьявола воротами для опухоли служат раны, у собак — микроповреждения слизистой полового тракта. Возможны ли другие естественные пути распространения опухолевых клеток? Ответить на этот вопрос в 1960-х годах попыталась группа исследователей из Национального ракового института США совместно со специалистами по тропической медицине. Они изучали возможность переноса опухолевых клеток комаром *Aedes aegypti* [11]. Экспериментировали с трансмиссивной ретикулосаркомой хомяка, клетки которой появляются в крови уже на пятый день после подкожной перевивки, а в финальной стадии заболевания количество их достигает 100 000/мм³. Эксперимент поставили в двух вариантах. Комаров кормили до половины наполнения желудка на здоровых или больных животных, затем их подсаживали к здоровым животным. В первой группе (кровь здоровых животных) у реципиентов опухоли не возникли, т.е. комары не заражены агентом, который мог бы вызывать этот тип опухолевого роста. Во второй группе, где комары пили кровь больных животных, опухоли развились примерно у 10—20% реципиентов (табл.1).

Во всех случаях кариотип перевившейся опухоли, резко отличавшийся от кариотипа

Таблица 1

Перенос комаром *Aedes aegypti* клеток ретикулосаркомы с больных хомяков на здоровых [11]

Донор с опухолью		Здоровые реципиенты		Латентный период возникновения опухоли (дни)
№	Количество лейкоцитов	Взято в опыт	Опухоль привилась	
1	65 000	11	2	13, 20
2	82 000	10	2	20, 23
3	159 000	8	1	23

нормальных клеток хомяка, был идентичен исходной опухоли, что дополнительно исключает индукцию этой ретикулосаркомы вирусом или другим внешним агентом. Было также показано, что в желудке комара опухолевые клетки выживают не менее 6 часов. Таким образом, не исключена возможность распространения опухолей кроветворной системы среди генетически однородных животных кровососущими насекомыми.

Трансплантация опухолевых клеток у человека

У человека в обычных условиях горизонтальный перенос опухоли (заражение опухолевыми клетками) не происходит. Мы не имеем в виду широко известные случаи переноса опухоли от больного донора органов или костного мозга реципиенту, который находится под действием иммунодепрессантов, предотвращающих отторжение нормальной и опухолевой ткани. Мы не говорим также о заражении лейкозом плода больной матерью или внутриутробного заражения одного плода другим. Речь идет о тех редких случаях, когда в организм здоровых людей по тем или иным причинам попадают опухолевые клетки другого человека. Начиная с XIX в. многие врачи, в частности известные дерматологи К.Альбер и Л.Биетт, пытались привить опухоли себе, вводили их под кожу. Всегда дело заканчивалось воспалением и отторжением опухолевой ткани [1, 2].

Попытку трансплантации опухолей у человека предприняли в 1956—1957 гг. в одном из старейших противораковых центров США — Sloan-Kettering Institute for Cancer Research [12]. В эксперименте участвовали добровольцы — несколько больных с распространенными формами злокачественных опухо-

лей, не получавших на тот момент никаких химиопрепаратов или лучевого лечения, а также заключенные одной из тюрем. Здоровым волонтерам и больным инъецировали под кожу предплечья $(0.5-1) \cdot 10^6$ клеток опухолей человека из культуры ткани (табл.2). С интервалом в одну неделю в течение восьми недель удаляли небольшие кусочки привитой ткани и исследовали их под микроскопом. У здоровых реципиентов клетки всех опухолевых линий полностью некротизировались в течение двух недель лейкоцитами, мононуклеарами и эозинофилами. При повторном введении те же опухолевые клетки отторгались быстрее.

У онкологических больных реакция отторжения была замедленной или отсутствовала вовсе. Активный рост привитой опухоли наблюдался почти у всех больных и продолжался у большинства до двух-трех недель, а у части более шести недель. При регрессии опухоли воспалительная реакция была слабой, хотя в ответ на другие чужеродные агенты оставалась нормальной. Все линии опухолевых клеток (кроме Нер3) имели сход-

ную динамику роста и регрессии. Последняя отличалась активным ростом, который наблюдался несмотря на воспалительную инфильтрацию. У трех онкологических больных опухоль после удаления трижды возобновлялась и росла до смерти пациентов от основного заболевания, а у одного еще и метастазировала в лимфатические узлы. Трансплантаты нормальной чужеродной кожи у онкологических больных в далеко зашедшей стадии также отторгались позднее, чем у здоровых или не отторгались вовсе.

Было показано, что барьер гистосовместимости не позволяет опухолевым клеткам одного человека размножаться в здоровом организме другого, а наличие собственной опухоли в конечной стадии заболевания снижает этот барьер и для злокачественных, и для нормальных трансплантатов. В то же время опухоли различаются по своей способности преодолевать барьер гистосовместимости. В частности, линия Нер3, полученная из рецидивировавшего после рентгенотерапии рака слизистой оболочки полости рта, обладала повышенной спо-

Таблица 2

Гомотрансплантация злокачественных клеток человека [12]

Линия* клеток	Онкологические больные		Здоровые волонтеры	
	+/всего**	Длительность роста***	+/всего**	Длительность роста***
HeLa	2/3	14, 18	0/2	—
Нер1	6/6	7, 19, 21, 34, 42, 77	2/3	14, 14
Нер2	2/2	19, 19	1/3	14
Нер3	6/6	7, 7, 19, 42, 42, 57	1/4	14
HS1	1/1	57	—	—
J-111	3/4	6, 20, 42	—	—
КК	3/6	9, 10, 10, 18, 60	0/3	—

Примечания:

* Опухоль, из которой получена линия: HeLa — рак шейки матки; Нер-1 — метастаз рака шейки матки в паховый лимфоузел; Нер-2 — первичный рак гортани; Нер-3 — рецидив плоскоклеточного рака слизистой оболочки щеки спустя 6 месяцев после лучевого лечения; HS-1 — фибросаркома; J-111 — моноцитарный лейкоз; КК — трансформированные в культуре клетки конъюнктивы.

** Количество человек с привившейся опухолью (+) по отношению к общему числу привитых. Некоторым больным прививали 2 и более опухоли.

*** Максимальное время длительности жизни опухолевых клеток в биоптатах у каждого волонтера с привившейся опухолью (+) в днях.

собностью. Видимо, в этом случае сформировался резистентный к облучению клон с повышенной степенью злокачественности.

К той же категории исследований относится и уникальный случай, когда 80-летняя мать, физически и психически сохранная и знавшая об экспериментах по гетеротрансплантации опухолей, попросила перевить ей меланому от своей умиравшей 55-летней дочери. Трансплантат из подкожной опухоли внесли в прямую мышцу живота реципиента и удалили при первых признаках роста. Несмотря на это, образовались многочисленные метастазы, рост которых подавляли химиопрепаратами в течение полутора лет, после чего больная погибла [13]. Рассматривая причины быстрой прививки и распространения опухоли, авторы публикации отмечали, что у матери и дочери группа крови была сходной.

В литературе нам удалось найти только два сообщения о перевивке опухоли одного че-

ловека другому (здоровому) в результате несчастного случая. Достоверность этих данных подтверждена профессиональными наблюдениями, гистологическим контролем и публикацией в рецензируемом медицинском журнале. Такие случаи чрезвычайно редки и поэтому никак не влияют на заболеваемость злокачественными опухолями.

Случай 1. Лаборантка 19 лет перевивала мышам клетки опухоли толстого кишечника человека, взятые из культуры ткани, и уколола руку иглой. Спустя две недели на месте укола возникло новообразование, которое через 19 дней выросло до 9×4×4 мм, со структурой типичной аденокарциномы, характерной для опухолей кишечника. Удалили без рецидивов. Данных за наличие иммунодефицита (СПИД) у лаборантки не было, тем не менее, ее организм не реагировал на перевитую опухоль воспалительной реакцией. Комплекс гистосовместимости у девушки был представлен HLA A2, A11, B44 и Bw55, а в клетках культуры аденокарциномы — HLA A2, B13

и Bw50, т.е. один из параметров у них был общим [14].

Случай 2. Во время срочной операции по поводу злокачественной фиброзной гистиоцитомы хирург поранил кисть руки; порез сразу продезинфицировали и наложили повязку. Однако спустя пять месяцев на его месте появилась твердая округлая опухоль диаметром 3 см, гистологически идентичная опухоли больного. На периферии ее находился очаг воспаления из лимфоцитов и макрофагов с небольшим количеством плазматических клеток. Хотя по иммунологическим показателям у хирурга не было признаков иммунодефицита, опухоль интенсивно росла. Анализ полиморфизма коротких tandemных повторов ДНК показал, что клетки развившейся у хирурга опухоли химерные, включающие комбинацию клеток опухоли больного и нормальных клеток врача. По генам главного комплекса гистосовместимости *HLA-DRB1* и *DQB1* опухолевые клетки хирурга оказались гетерозиготными — содержащими аллели из первичной опухоли пациента и из клеток хирурга (табл.3). Опухоль удалили без рецидива [15].

Приведенные примеры, видимо, не исчерпывают все случаи заражения опухолевыми клетками, попавшими в здоровый организм при травме. Просто они обратили на себя внимание, поскольку опухоль развилась на месте травмы, притом через короткое время. Интересен и тот факт, что в обоих случаях заражение вызывалось минимальным количеством клеток, подобно тому как у тасманийского дьявола при укусах или у хомяка в случае переноса ретикулосаркомы комарами. Если у обоих реципиентов действительно не было иммунодефицита, остается предположить, что привившиеся опухолевые клетки имели повышенную способность к адаптации в чужеродном организме. В случае опухоли хирурга она могла быть обусловле-

Таблица 3

Анализ полиморфных коротких повторов и генов главного комплекса гистосовместимости опухоли больного и опухоли хирурга [15]

Локус	Опухоль больного	Опухоль хирурга	Кровь хирурга	Контрольная опухоль
Локус (число пар оснований)				
HUMCYAR04	7-3 (168)* 11(187)	7-3 (168)* 11(187)	7-3 (168)*	11(137)
HUMTH01	8(166) 10(173)	6(158) 10(173) 8(166)	6(158) 10(173)	6(154) 10(170)
HUMACTBP2	31(300) 31(300)	19(272) 25(277) 31(300)	19(272) 25(277)	21(258) 28(289)
HLA-DRB1	1501 1401	1501 1401 01 07	01 07	н.и.
HLA-DQB1	05031 0602	0501 02 05031 0602	0501 02	н.и.

* Аллель 7-3 была общей у больного и хирурга.

н.и. — не исследовали. Жирным шрифтом выделены показатели хирурга, курсивом — контрольной гистиоцитомы.

на их способностью к гибридизации с клеткой хозяина, позволившей преодолеть барьер гистосовместимости.

Гибридизация нормальных и опухолевых клеток

Гибридизацию клеток *in vitro*, в том числе и межвидовую, широко применяют для картирования генов, изучения регуляторных путей, создания продуцентов белков и других целей. Но гибридизация *in vivo* изучена гораздо меньше. Агрессивный рост и метастазирование опухоли человека, перенесенной нормальному животному, — весьма редкое явление. Тем не менее такие случаи известны. Наиболее детально изучена спонтанная гибридизация злокачественных клеток человека с клетками хомяка. При перевивке опухоли в защитный мешок хомяка возникали клоны злокачественных клеток, продуцировавшие белки и человека, и хомяка. В одном из таких экспериментов образовавшийся при гибридизации клон не только сохранил злокачественные свойства, но и стал метастазировать в различные органы животного. Три из семи генов человека, найденных в гибридной опухоли, экспрессировали свои белки после многих лет роста в культуре или трансплантации.

В другом эксперименте клетки рака молочной железы человека инъецировали в молочные железы бестимусной мыши (рис.9). Из выросшей опухоли получили линию, продуцировавшую также и белки мыши. В делящихся клетках присутствовал в основном мышинный полиплоидный кариотип, но 30% из них содержали хромосомы и мыши, и человека. В покоящихся клетках более 60% ядер состояли из генетического материала злокачественного эпителия человека и соединительной ткани мыши [10].

В данном случае второй партнер гибридизации — со-

единительнотканная клетка мыши — также претерпела злокачественную трансформацию. Если раньше в железистых опухолях в основном изучали эпителиальный компонент (с ним связывали основные свойства опухоли и ее метастатический потенциал), то в последнее время больше внимания уделяется соединительнотканному микроокружению и его роли в прогрессии опухоли. Активацию стромы (десмоплазию) обнаруживают во многих опухолях человека. Такой возврат соединительнотканной клетки к эмбриональному фенотипу (обычный при заживлении раны) в злокачественных новообразованиях влияет на морфологию эпителия: повышается его миграционная способность, изменяется строение цитоскелета и способность продуцировать белки, вызывающие вращание сосудов в опухоль. Ферменты стромы и ростовые факторы, образуемые клетками опухоли, ничем не отличаются от нормальных прототипов, что говорит в пользу эпигенетической природы этих изменений, не затрагивающих структуру ДНК. Опухоль из эпителиальных клеток и злокачественной стромы, как правило, более агрессивна.

Изучение гибридизации нормальных и опухолевых клеток имеет прямое отношение и к метастазированию. Удобным инструментом ее изучения служит межвидовая гибридизация, поскольку она позволяет различать в гибридном ядре генетические структуры партнеров и их активность. В одном из экспериментов после гибридизации клеток неметастазирующей меланомы мыши с макрофагами человека или мыши сформировались агрессивно растущие клоны, дававшие метастазы более чем у 80% животных. Один из механизмов образования гибридных ядер (синкарионов) злокачественных клеток с макрофагами или другими фагоцитами, инфильтрирующими опухоль, — это фагоцитоз опухолевых кле-

ток или обломков их ядер. Макрофаги, способные сливаться с другими клетками, могут гибридизоваться с опухолевыми клетками. Те в свою очередь активно экспрессируют гликопротеины CD44 и CD47, которые участвуют в клеточных контактах, а также β -хемокин CCL2 — наиболее мощный фактор привлечения моноцитов. Значит, клетки, защищающие организм от злокачественного роста, в некоторых случаях могут ему способствовать. Одна из важнейших задач экспериментальной онкологии — выяснить эти условия.

* * *

Итак, злокачественные клетки могут формировать клоны, заражающие животных в естественных условиях и сохраняющиеся во времени подобно другим инфекционным агентам. Этому способствует либо уникальная генетическая конструкция опухолевой клетки, позволяющая блокировать работу главного комплекса гистосовместимости (венерическая саркома собак), либо наличие генетически однородной популяции, как в случае тасманийского дьявола или искусственно выведенных инбредных линий лабораторных животных.

Вероятно, при формировании видов популяции животных, не отличавшиеся иммунологическим разнообразием, нередко подвергались опустошительному распространению злокачественных клонов, которые были одним из факторов отбора организмов по признаку вариабельности главного комплекса гистосовместимости.

Злокачественные опухоли человека в обычных условиях не заразны. Они возникают индивидуально и либо прекращают свое существование вместе с больным, либо излечиваются. Рак шейки матки мог бы передаваться мужчине опухолевыми клетками женщины подобно венерической саркоме собак, чего никогда не происходит. Этому

противостоит мощный иммунологический заслон в виде главного комплекса гистосовместимости. Преодолеть его можно лишь в исключительных обстоятельствах: при подавлении иммунитета (трансплантация органов и тканей), или при совпадении иммунологических ха-

рактеристик опухоли и организма-реципиента. При этом опухолевая клетка должна проникнуть в организм через рану, минуя барьер кожи и слизистых оболочек.

В связи с этим последним обстоятельством и по настоящее время остается актуальным вы-

вод 135-летней давности из диссертации Новинского, адресованный хирургам: «Ввиду возможности прививания злокачественных новообразований операторы должны быть осторожны при экстирпации [удалении] злокачественных новообразований».

Литература

1. *Новинский М.* О прививании раковых новообразований. Предварительное сообщение (из зоохирургического кабинета ад.-професс. В.Е.Воронцова) // Медицинский вестник. 1876. №25. С.14—23.
2. *Шабад Л.М.* Новинский — родоначальник экспериментальной онкологии. М., 1950.
3. *Murchison E.* Clonally transmissible cancers in dogs and Tasmanian devils // *Oncogene*. 2008. №27. Suppl 2. P.19—30.
4. *Murgia C., Pritchard J., Kim S. et al.* Clonal origin and evolution of a transmissible cancer // *Cell*. 2006. V.11. №126 (3). P.477—487.
5. *VonHoldt B.M., Ostrander E.A.* The singular history of a canine transmissible tumor // *Cell*. 2006. V.126. P.445—447.
6. *McCallum H., Jones M.* To lose both would look like carelessness: tasmanian devil facial tumour disease // *PLoS Biology*. 2006. V.4. №10. P.1671—1674.
7. *Lob R., Bergfeld J., Hayes D. et al.* The pathology of devil facial tumor disease (DFTD) in Tasmanian Devils (*Sarcophilus harrisi*) // *Vet. Pathol.* 2006. V.43. №6. P.890—895.
8. *Belov K.* Contagious cancer: Lessons from the devil and the dog // *Bioessays*. 2012. V.34. №4. P.285—292.
9. *Lob R., Bergfeld J., Hayes D. et al.* The pathology of devil facial tumor disease (DFTD) in Tasmanian Devils (*Sarcophilus harrisi*) // *Vet. Pathol.* 2006. V.43. №6. P.890—895.
10. *Jacobsen B., Harrell J., Jedlicka P. et al.* Spontaneous Fusion with, and Transformation of Mouse Stroma by, Malignant Human Breast Cancer Epithelium // *Cancer Res*. 2006. V.66. №16. P.8274—8269.
11. *Banfield W., Woke P., Mackay C., Cooper H.* Mosquito transmission of a reticulum cell sarcoma of hamsters // *Science*. 1965. V.28. №148 (3674). P.1239—1240.
12. *Moore A., Rboads C., Southam C.* Homotransplantation of human cell lines // *Science*. 1957. V.125. P.158—160.
13. *Scanlon E., Hawkins R., Fox W. et al.* Fatal homotransplanted melanoma: a case report // *Cancer*. 1965. V.18. P.782—729.
14. *Gugel E., Sanders M.* Needle-stick transmission of human colonic adenocarcinoma // *Nat. Engl. J. Med.* 1986. V.4. №315 (23). P.1487.
15. *Gärtner H., Seidl C., Luckenbach C. et al.* Genetic analysis of a sarcoma accidentally transplanted from a patient to a surgeon // *Nat. Engl. J. Med.* 1996. V.335. №20. P.1494—1496.

Международный эксперимент CLOUD: частицы и облака

В.С.Махмутов, Ю.И.Стожков

Установить причины изменения климата на нашей планете, в частности глобального потепления, — одна из главных задач, стоящих перед наукой, ведь климат определяет буквально все условия нашей жизни — от экономики до политики. Данные метеостанций о глобальной температуре приземного слоя воздуха ($T_{\text{пл}}$) свидетельствуют, что с 1880 г. по настоящее время средняя по всему земному шару величина $T_{\text{пл}}$ увеличилась примерно на $(0.8-1)^\circ\text{C}$, причем с 1980 г. рост температуры составил около 0.5°C [1]. Рисунок 1 показывает изменения глобальной температуры приземного слоя воздуха $\Delta T_{\text{пл}}$, начиная с 1880 г. по сегодняшний день.

В связи с ростом величины $\Delta T_{\text{пл}}$ стал особенно важным вопрос о физическом механизме, ответственном за это явление. Предлагаемые объяснения глобального потепления климата можно разделить на два направления: потепление вызвано искусственными причинами или оно имеет естественное происхождение. В первом случае причиной роста глобальной температуры поверхностного слоя воздуха считается деятельность человека, так называемый антропогенный фактор; во втором — природные процессы, происходящие на Земле, на Солнце или в космическом пространстве. Здесь мы не будем



Владимир Салимгереевич Махмутов, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией физики Солнца и космических лучей Физического института им.П.Н.Лебедева РАН. Работы связаны с несколькими разделами физики: физикой космических лучей, солнечных вспышек и солнечной активности, магнитосферы, атмосферных процессов, экспериментальной физикой.



Юрий Иванович Стожков, профессор, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник той же лаборатории. Область научных интересов — физика космических лучей, физика Солнца, солнечно-земные связи, атмосферные процессы и космические лучи. Лауреат Ленинской премии (1976).

обсуждать основные причины, вызвавшие процесс глобального потепления. Эта тема требует отдельного рассмотрения, и к настоящему времени ей посвящено много научных статей (см., например, [2–6]). Сосредоточимся на роли космических «пришельцев» — космических лучей. К концу второго тысячелетия было обнаружено достаточно много экспериментальных фактов, свидетельствующих о влиянии космических лучей на атмосферные процессы, в первую очередь на процессы, связанные с осадками.

Вездесущие посланцы космоса

Космические лучи представляют собой заряженные частицы (в основном это протоны, альфа-частицы и небольшая доля ядер с зарядом $Z > 2$), которые приходят в Солнечную систему из галактического пространства; часть из них попадает в земную атмосферу. Поток этих частиц зависит от уровня солнечной активности. Когда наше светило спокойно (например, как это было в 2006–2010 гг.), поток космических лучей в окрестнос-

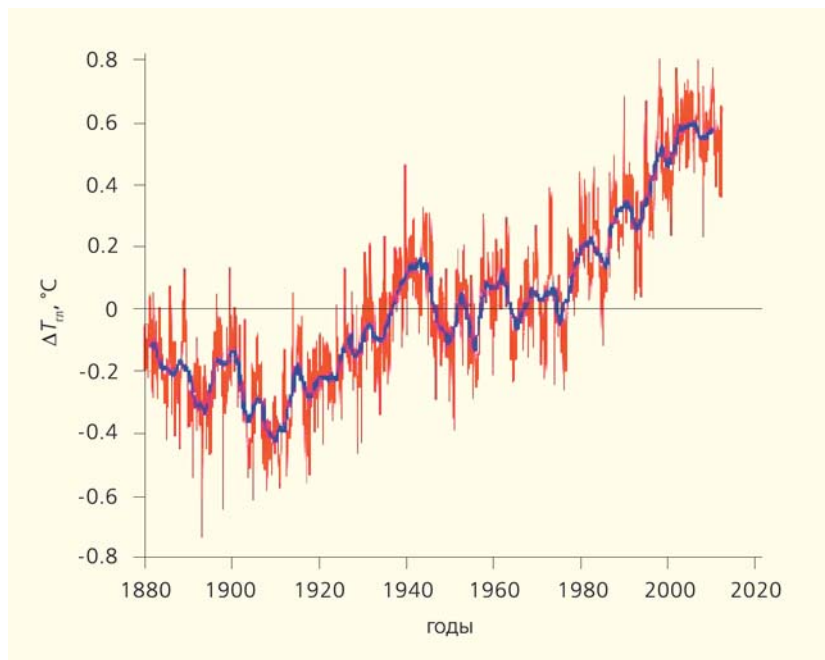


Рис.1. Изменения глобальной температуры приземного слоя воздуха ΔT_m относительно средней глобальной температуры, полученной в период 1901—2000 гг. [1]. Красная кривая — среднемесячные значения ΔT_m , синяя — трехлетние скользящие значения этой величины.

тах Земли максимален, и, наоборот, когда солнечная активность максимальна (2011—2012 гг.), поток космических лучей значительно (на десятки процентов) уменьшается.

Во второй половине 1990-х годов было обнаружено, что изменение площади облачного покрова в обширной области Атлантического океана зависит от вариаций потока космических лучей, падающих на земную атмосферу [7]. До сих пор обсуждается, насколько эта связь устойчива. В работе [8] было замечено влияние потоков космических лучей на прозрачность атмосферы для солнечного света: увеличение потока приводит к уменьшению прозрачности и наоборот. Твердо установленный факт — определяющая роль космических заряженных частиц в процессах, связанных с атмосферным электричеством. Космические лучи служат основным производителем электрических зарядов (положительных и отрицательных ионов) в любом месте атмосферы — от уров-

ня Земли до высот 40—50 км. Наличие ионов обеспечивает электрическую проводимость воздуха, создает необходимые условия для образования грозовых облаков. Высокоэнергичные космические частицы вызывают молниевые разряды [9].

Космические лучи, вероятно, могут существенно ускорить процесс образования облачности в атмосфере. Больше поток космических заряженных частиц — больше площадь облачного покрова, больше солнечного света отражается от атмосферы и уходит в межпланетную среду, понижая температуру на Земле. Меньше поток частиц — меньше площадь облаков, меньше света отражается, соответственно, температура приземного слоя воздуха повышается. Следует отметить, что обычно примерно 65% поверхности Земли всегда покрыто облаками и они отражают значительную долю потока энергии солнечного излучения, поступающего на орбиту Земли.

С целью изучения роли космических лучей в процессе гло-

бального потепления, в атмосферных явлениях, в процессе формирования грозовых облаков и молниевых разрядов в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН) был поставлен необычный для ядерного центра эксперимент CLOUD [10]. Само название, хотя и переводится с английского языка как «облако», представляет собой аббревиатуру, образованную от словосочетания Cosmics Leaving OUtdoor Droplets (космические причины, вызывающие образование водных капель). Постановке этого эксперимента предшествовало примерно трехлетнее интенсивное обсуждение научных задач и целесообразности его выполнения в ЦЕРНе. По результатам проведенного международного рецензирования и детального обсуждения Научный совет ЦЕРНа в 2006 г. одобрил этот проект и создал все необходимые условия для его выполнения. Как самое удобное место проведения эксперимента CLOUD Центр был выбран по следующим причинам: наличие управляемого и регулируемого пучка заряженных частиц от протонного синхротрона PS, что позволяет создавать условия ионизации, соответствующие разным высотам в земной атмосфере; мощный ресурс вычислительных средств для обработки и анализа полученных результатов; широкие логистические возможности ЦЕРНа для организации и проведения международного эксперимента.

Эксперимент CLOUD мультидисциплинарен и интернационален. В нем участвуют экспериментаторы и теоретики, известные специалисты по физике и химии атмосферы, физике космических лучей и климатологии. В выполнении работ заняты ученые и молодые специалисты из 18 институтов следующих стран: Австрии, Великобритании, Германии, Португалии, России, США, Финляндии и Швейцарии [10]. Каждый член сотрудничества CLOUD задействован и в подготовке необходимой

экспериментальной аппаратуры, и в проведении самого эксперимента, и в анализе полученных данных. Каждая страна разработала и изготовила определенную часть экспериментальной установки. ФИАН создал два прибора. Во-первых, годоскоп, который состоит из сцинтилляционных счетчиков для регистрации потока заряженных частиц от ускорителя. Он позволяет получать информацию о пространственном распределении этих частиц в плоскости, перпендикулярной пучку. Во-вторых, прибор для измерений потока космических лучей в месте проведения эксперимента. Он включает в себя комбинации из нескольких сотен газоразрядных счетчиков с фильтрами и дает возможность разделить регистрировать поток заряженных космических частиц и локальную радиоактивность.



Рис.2. Схема процесса возможного влияния космических лучей на образование облачности. В атмосфере космические лучи образуют ионы. Ионы прилипают к аэрозолям и создают центры (ядра) конденсации водяного пара. На центрах конденсации растут водяные капли, необходимые для образования облака.

Влияют ли частицы на конденсацию?

Если сравнить потоки солнечной энергии, падающие на нашу Землю ($\sim 1.36 \cdot 10^3$ Вт/м²), и энергии космических лучей в земной атмосфере ($\sim 10^{-5}$ Вт/м²), то их отношение составит величину $\sim 10^8$. Поскольку вторая величина в ~ 100 млн раз меньше первой, естественно было бы полагать, что космические частицы не могут существенным образом воздействовать на атмосферные процессы. Однако такое заключение оказывается неверным, ибо космические лучи служат основным источником электрических зарядов в земной атмосфере и ответственны практически за все электрические явления, наблюдаемые в ней [11, 12]. В атмосфере Земли частицы оставляют $\sim 90\%$ всей своей энергии, которая расходуется на возбуждение атомов воздуха и образование легких ионов. Концентрация этих ионов определяет проводимость воздуха, которая, в свою очередь, обеспечивает ра-

боту так называемой глобальной электрической сети в земной атмосфере [13]. Положительные и отрицательные ионы необходимы для образования грозных облаков. Космические частицы высоких энергий (энергии $E \geq 10^{15}$ эВ) рождают в атмосфере так называемые широкие атмосферные ливни с многочисленными ионизованными треками, простирающимися от высоты примерно 15 км до земной поверхности. В грозных облаках по этим ионизованным трекам распространяются молниевые разряды [9].

Особый интерес представляют исследования влияния потоков космических лучей на образование облачности и изменение прозрачности земной атмосферы [7, 8]. На рис.2 показана качественная схема процессов возможного воздействия космических лучей на формирование облаков. Поток космических лучей из межпланетного пространства падает на границу атмосферы. Величина этого потока определяется уровнем солнеч-

ной активности, в качестве меры которой обычно используют число солнечных пятен. В атмосфере заряженные космические частицы образуют положительные и отрицательные ионы. Ионы за время своей жизни, которое зависит от высоты и составляет не более нескольких минут, либо рекомбинируют (образуют нейтральные частицы), либо прилипают к маленьким частицам — атмосферным аэрозолям (взвесям различных загрязнений) или к центрам нуклеации (конгломератам молекул самой атмосферы). В свою очередь, к аэрозолям и центрам нуклеации прилипают молекулы водяного пара. Наличие электрического заряда ускоряет процесс прилипания. Таким образом, в атмосфере образуются более крупные по размеру ядра или центры конденсации водяного пара. В дальнейшем на этих ядрах вырастают водяные капли, из которых состоят облака. Существенная роль во всех этих процессах принадлежит электрическому заряду.

Окончательное слово за экспериментом

Итак, в земной атмосфере водяные капли растут на так называемых центрах конденсации — микроскопических частицах, имеющих размеры ~10 мкм и более. Часть центров конденсации образуется вследствие нуклеации — процесса объединения отдельных молекул в комплексы — кластеры молекул с размерами от долей нм до нескольких нм. Однако физический механизм процесса нуклеации полностью еще не изучен. Для понимания процессов нуклеации, образования центров конденсации и роста водных капель, выяснения роли потоков космических лучей в этих и других процессах, происходящих в земной атмосфере, и был предложен эксперимент CLOUD. Задачи эксперимента включают в себя анализ «работы» электрического заряда в процессах образования комплексов молекул с размером от 0.001 до 0.01 мкм, а затем формирования и роста водных капель, которые создают облачность, исследование роли знака электрического заряда ионов в этих процессах.

Здесь уместно вспомнить о первых работах по изучению процесса образования облачности, тесно связанных с именем известного шотландского ученого Чарльза Вильсона. Он создал знаменитую камеру, названную его именем, которая нашла широкое применение в физике частиц. В 1894—1895 гг. Вильсон работал в обсерватории, расположенной на горе Бена Невис (Англия) и был восхищен красочными картинками облаков, многочисленностью их форм и происходящими с ними изменениями. Именно в то время у него возник интерес к физической природе зарождения облаков. Поэтому, вернувшись в Кембридж, в знаменитую лабораторию Кавендиша, он решил научиться создавать облака в лабораторных условиях и попытаться экспериментально изучить физику этого

явления. Вначале Вильсон предполагал, что так называемые центры конденсации, на которых растут водяные капли, создают только ионы. Однако в дальнейшем он обнаружил, что облачность образуется также и благодаря электрически нейтральным частицам.

Как упоминалось выше, в 2006 г. в Международном центре ядерных исследований начали строить комплексную экспериментальную установку для изучения процессов образования и роста водных капель. В 2009 г. был создан первый рабочий вариант (блок-схема представлена на рис.3).

Поток частиц (положительно заряженных пионов с энергией

~3 ГэВ) от ускорителя проходит через систему сцинтилляционных счетчиков (годоскоп), которая дает картину их пространственного распределения. Далее эти частицы попадают в камеру облаков, вызывая ионизацию находящейся в ней газовой смеси. Поток частиц можно увеличивать или уменьшать в широких пределах и тем самым изменять уровень ионизации в камере в соответствии со степенью ионизации воздуха, наблюдаемой на разных высотах в земной атмосфере. Детектор фона космических лучей с высокой точностью контролирует поток галактических космических лучей и радиационную обстановку в экспериментальном зале.

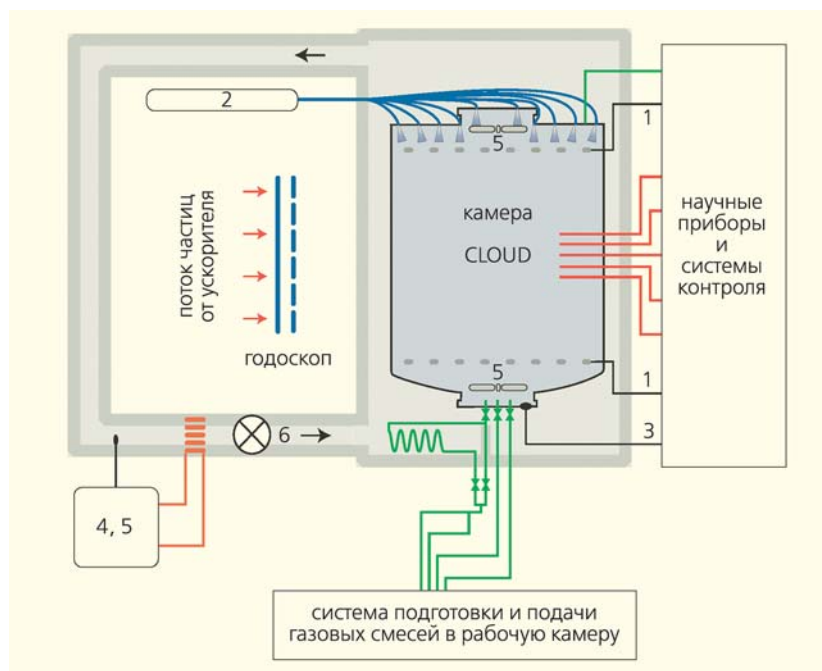


Рис.3. Блок-схема экспериментальной установки международного проекта CLOUD в ЦЕРНе. В центре — стальная цилиндрическая рабочая камера диаметром 3 м и высотой 2,8 м, в которой создается атмосфера необходимого химического состава с требуемыми физическими свойствами. Рабочий объем камеры равен примерно 26 м³. Поток заряженных частиц от ускорителя (стрелки слева) вызывает ионизацию газовой среды внутри камеры. Горизонтальные верхние и нижние электроды (1) внутри камеры создают электрическое поле напряженностью до 30 кВ/м; система ультрафиолетовых излучателей (2) дает возможность образования паров серной кислоты, которое происходит при фотолитическом окислении диоксида серы под действием УФ-излучения в присутствии озона и паров воды; комплекс измерительной аппаратуры и системы контроля (3) позволяют исследовать процессы нуклеации при заданных и контролируемых атмосферных условиях. Предусмотрены также теплоизолирующая и криогенная системы (4, 5) и система интенсивного обдува корпуса камеры (6).

Система подготовки и подачи газовых смесей позволяет создать в рабочей камере (объем ~26 м³) установки CLOUD необходимые концентрации азота, кислорода, озона, водяных паров и дополнительных химических составляющих (диоксида серы, аммиака и других газов). Верхний и нижний вентиляторы, установленные в камере, обеспечивают быстрое перемешивание газов и создают одинаковый состав воздуха по всему ее объему. В камере можно в широких пределах менять атмосферное давление и влажность воздуха. Теплоизолирующая и криогенная системы установки, система ее интенсивного обдува воздухом обеспечивают стабильный температурный режим в ней в пределах от -90 до +40°C с точностью 0.01°C. За «погодой» в камере следит комплекс высокоточных датчиков температуры, расположенных как в системе вентиляции, так и на всей поверхности установки. Кроме того, с помощью горизонтальных верхних и нижних электродов (1) внутри камеры можно создавать электрическое поле напряженностью до 30 кВ/м. Оно позволяет быстро удалять ионы из рабочего объема. Тем самым открывается возможность исследовать атмосферные процессы в присутствии только нейтральных молекул, т.е. в отсутствие ионов. В состав аппаратуры входит также система ультрафиолетовых излучателей. Процесс образования паров H₂SO₄ происходит при фотолитическом окислении диоксида серы SO₂ под действием УФ-излучения в присутствии озона и паров воды. Уровень ультрафиолетового излучения, а, соответственно, и концентрация паров H₂SO₄ контролируются измерительной системой УФ-датчиков (3). Одним словом, внутри камеры можно создавать газовую среду с различными характеристиками, которые имеет земная атмосфера на разных высотах и широтах.

Обширный комплекс научных приборов позволяет с вы-



Рис.4. Общий вид экспериментальной установки CLOUD. Пучок заряженных пионов от ускорителя (красная стрелка) проходит через детекторы (годоскоп, состоящий из сцинтилляционных счетчиков), которые дают картину пространственного распределения частиц. Затем они попадают в камеру объемом 26 м³ и ионизируют воздух. Снаружи и внутри камеры находится регистрирующая аппаратура и системы контроля.

сокой точностью определять физико-химические характеристики процессов, происходящих в рабочем объеме камеры. В этот комплекс входят: химический ионизационный масс-спектрометр, два времяпролетных масс-спектрометра для определения молекулярного состава положительно и отрицательно заряженных кластеров, несколько измерителей концентрации аэрозолей, спектрометр нейтральных кластеров и кластеров ионов в воздухе. Детекторы аэрозолей и спектрометр дают возможность следить за образованием кластеров частиц начиная с размеров в 1 нм и выше. Имеется большой набор вспомогательной аппаратуры, которая регулирует условия в камере облаков (изменяет давление, температуру, состав воздуха, напряженность электрического поля и др.) и поддерживает с высокой точностью необходимые параметры.

Общий вид установки CLOUD представлен на рис.4,

где видны ее основные узлы: выходной канал ускорителя, годоскоп (он определяет пространственную картину пучка ускоренных частиц), камера.

Первые результаты: явные, но недостаточные

Первые запланированные экспериментальные работы на установке CLOUD проводились в период 2009—2011 гг. Их целью было изучение процессов зарождения первичных кластеров молекул, влияния ионизации на эти процессы и последующий рост кластеров. Исследовалось формирование новых частиц на основе серной кислоты, аммиака и паров воды, которые служат главными компонентами в процессах нуклеации в земной атмосфере. В эксперименте впервые установлено, что при увеличении концентрации ионов в камере скорость образования центров нуклеации возрастает. Впервые опытным путем наблю-

дались образование и рост новых заряженных кластеров молекул (аerosольных частиц) из простых молекул [14, 15].

Как было отмечено выше, необходимая концентрация соединений с серной кислотой в эксперименте CLOUD достигается путем облучения ультрафиолетовым светом диоксида серы, выпускаемого в камеру газовой

системой установки. Начальный этап измерений (см. рис.5, временной интервал А) соответствует «чистым» условиям, когда в камере отсутствуют добавки H_2SO_4 , а электрическое поле включено, что обуславливает отсутствие ионов. Нуклеация в камере при этом не наблюдается. Далее на участке Б включаются ультрафиолетовые облучатели

вверху камеры. Это быстро приводит к образованию молекул серной кислоты заданной концентрации в камере (см. фиолетовую линию на средней панели). С образованием молекул H_2SO_4 в камере и при включенном электрическом поле (ионы отсутствуют) наблюдается медленный рост концентрации aerosольных частиц — процесс нейтральной нуклеации (временной интервал Б). В конце этого интервала электрическое поле в камере выключается (интервалы В и Г). В результате этого космические лучи, проникающие в камеру, создают естественную ионизацию молекул воздушной смеси в камере. Ионы не «убираются» из рабочего объема камеры, что способствует появлению и заметному росту небольших кластеров молекул (см. среднюю панель рис.5). Это так называемый процесс ионно-индуцированной нуклеации. Скорость данного процесса существенно увеличивается, когда появляется дополнительная ионизация в камере CLOUD, вызванная потоком высокоэнергичных частиц от ускорителя (временной интервал Г). При этом резко возрастают скорость нуклеации частиц с размерами (2—10) нм и, соответственно, их концентрация. В конце временного интервала Г включается электрическое поле (30 кВ/м) внутри камеры. Это приводит к резкому уменьшению концентрации ионов и, как следствие, к сильному падению скорости нуклеации внутри камеры CLOUD [14, 15].

Итак, впервые установлено, что скорость протекания процесса нуклеации с участием паров H_2SO_4 , аммиака и воды (эксперименты с этими веществами также были проведены) в десятки раз увеличивается в присутствии ионов (образованных космическими лучами или пучком частиц от ускорителя — это не принципиально). В последнем случае скорость нуклеации по сравнению с нуклеацией на нейтральных частицах возрастает примерно в 10 раз. Причем

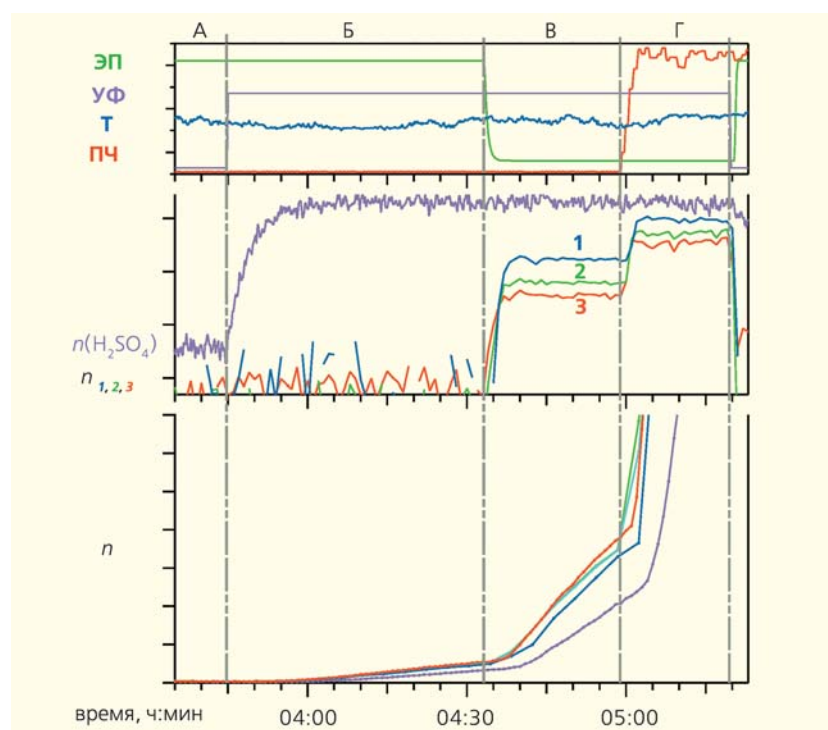


Рис.5. Результаты экспериментальных исследований процесса нуклеации в камере CLOUD на нейтральных частицах (временной интервал Б), в присутствии естественной ионизации, вызванной космическими лучами (В), и под действием дополнительной ионизации в камере, производимой частицами от ускорителя (Г). Измерения в отсутствие добавок H_2SO_4 в камере соответствуют временному интервалу А. На верхней панели представлена информация о некоторых условиях проведения эксперимента: зеленая линия показывает напряженность «очищающего» электрического поля (ЭП) внутри камеры в единицах от нуля до 30 кВ/м; на временных участках А и Б поле включено, а на участках В и Г выключено; ультрафиолетовые излучатели (УФ) выключены на интервале А и включены на всех остальных временных интервалах; температура газовой смеси внутри камеры (синяя кривая, Т) была постоянной на всем протяжении измерений: $T = 278.08$ К; пучок частиц от ускорителя (красная линия, ПЧ) поступал внутрь камеры CLOUD только на участке Г во время измерений. Интенсивность пучка в камере составляла $\sim 5.7 \cdot 10^4$ частиц в секунду. На средней панели показаны временные изменения концентраций (относительные единицы) паров серной кислоты (фиолетовая линия) и нескольких видов ионов (кластеров), содержащих разное количество молекул H_2SO_4 : кривая 1 соответствует (11—20) молекулам H_2SO_4 в кластере, кривая 2 — (4—10) молекулам, кривая 3 — (1—3) молекулам H_2SO_4 . Нижняя панель представляет временные изменения концентраций частиц разного диаметра, образуемых в камере: 1.7 нм (зеленая линия), 1.9 нм (голубая), 2.1 нм (синяя), 2 нм (красная), 2.5 нм (фиолетовая линия).

этот эффект наиболее выражен при низких температурах, соответствующих средней тропосфере (высота около 5 км). Обнаружено также, что при этих температурах эффективная нуклеация требует присутствия паров H_2SO_4 и воды, а наличие дополнительного третьего компонента (добавки) не обязательно.

Однако полученные в эксперименте увеличенные скорости образования центров нуклеации (в 10—1000 раз) значительно ниже соответствующих величин, наблюдаемых в нижней атмосфере. Следовательно, классическая модель формирования аэрозолей с участием только указанных выше составляющих нуждается в существенном пересмотре.

Нужно отметить, что исследованием роли ионизирующих излучений на динамику каплеобразования успешно занимаются в Институте оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН и в Институте космофизических исследований им. Ю. Г. Шафера СО РАН

[16, 17]. Там также было зарегистрировано, что ионизирующее излучение (в данном случае — от радиоактивного источника) и наличие слабого электрического поля в камере облаков существенно влияют на процессы нуклеации и рост водных капель.

Что дальше?

Дальнейшие эксперименты по проекту CLOUD будут направлены на исследование роли биологических добавок-соединений, которые существуют в земной атмосфере, в процессах нуклеации. Цель этих экспериментов — найти самые активные компоненты, определяющие основной вклад в процесс нуклеации на разных высотах атмосферы. Будет изучен конденсационный рост начальных центров нуклеации (размерами от нескольких нанометров до ~10 нм) до следующего уровня (~100—10 000 нм). На подобных центрах впоследствии и выра-

стают водяные капли, необходимые для образования облачности. Исследования определяют роль космических лучей в этих процессах.

Начиная с 2012 г. в эксперименте будет реализована возможность быстрого расширения газовой смеси внутри рабочей камеры. Это позволит выполнить эксперименты в режиме «классической» камеры Вильсона и детально исследовать процессы формирования центров конденсации, зарождения ледяных ядер и образования облаков. В 2014—2016 гг. планируется провести эксперименты по разделению электрических зарядов в атмосфере и образованию грозных облаков, определить роль знака заряда в процессах образования центров конденсации водяного пара.

Исследование роли потоков космических лучей во всех этих явлениях позволит в конечном итоге определить их влияние на глобальные процессы изменения климата на Земле. ■

Литература

1. ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/anomalies/monthly.land_ocean.90S.90N.df_1901-2000mean.dat
2. Ермаков В.И., Охлопков В.П., Стожков Ю.И. Влияние пыли космического происхождения на облачность, альбедо и климат Земли // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия. 2007. №5. С.41—45.
3. Котляков В.М. История климата Земли по данным глубокого бурения в Антарктиде // Природа. 2012. №5. С.3—9.
4. Sloan T., Wolfendale A.W. Man made global warming explained — closing the blinds // <http://arxiv.org/abs/1001.4988v3> [physics.aos-ph], 12 March 2010.
5. Бялко А.В. Палеоклимат: дополнения к теории Миланковича // Природа. 2009. №12. С.18—28.
6. Бялко А.В. Релаксационная теория климата // УФН. 2012. Т.182. №1. С.111—116.
7. Svensmark H., Friis-Christensen E. Variation of cosmic ray flux and global cloudcoverage — a missing link in solar-climate relationships // Journal Atmospheric and Solar Terrestrial Physics. 1997. V.59. P.1225—1232.
8. Pudovkin M.I., Veretenenko S.V. // Journal Atmospheric and Solar Terrestrial Physics. 1997. V.59. P.1739—1743.
9. Ермаков В.И., Стожков Ю.И. Физика грозных облаков // Препринт ФИАН. 2004. №2. 38 с.
10. <http://cloud.web.cern.ch/cloud/>
11. Stozhkov Y.I. The role of cosmic rays in the atmospheric processes // Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics. 2003. V.29. P.913—923.
12. Proceedings of the workshop on ion-aerosol-cloud interactions. CERN, Geneva, Switzerland, 18—20 April 2001, Geneva, 2001.
13. Чалмерс Дж.А. Атмосферное электричество. Л., 1974.
14. Kirkby J., Curtius J., Almeida J., et al. Role of sulphuric acid, ammonia and galactic cosmic rays in atmospheric aerosol nucleation // Nature. 25 august 2011, DOI 10.1038/nature10343. 2011. P. 429—433.
15. Kirkby J. CLOUD: closing in on the initial steps on cloud formation // CERN Courier. 2011. V.51. №8. P. 28—31.
16. Крымский Г.Ф., Колосов В.В., Ростов А.П., Тырышкин И.С. Установка для исследования нуклеации водяных паров в искусственной атмосфере // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т.23. №9. С.820—825.
17. Крымский Г.Ф., Колосов В.В., Тырышкин И.С. Конденсация пара в присутствии ионизирующих воздействий // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т.23. №9. С.826—829.

Вулканомеханика

А.А.Бармин, Е.И.Гордеев, О.Э.Мельник

Чтобы понять функционирование любой сложной природной системы (климата, океана, очага землетрясения или извергающегося вулкана), необходимо привлекать специалистов из разных областей знания и применять различные подходы, основанные на натуральных измерениях, лабораторных экспериментах и математическом моделировании. Для исследования вулканических извержений последнее играет первостепенную роль, поскольку никакими прямыми методами невозможно получить информацию о процессах, происходящих при подъеме магмы к поверхности. Однако существуют и успешно используются методы гидромеханики и теории упругости для изучения и прогноза вулканической активности.

Проявления вулканизма и магматический расплав

Вулканическое извержение — один из наиболее опасных типов природных катастроф. Так, извержение Везувия (79 г. н.э.) разрушило города Помпеи и Геркуланум, вулкан Санторин (1650 г. до н.э.) уничтожил минойскую культуру, а при извержении Кракатау (1883 г.) было выброшено около 50 км³ вулканического вещества (шум этого извержения слышался на расстоянии в несколько тысяч ки-



Алексей Алексеевич Бармин (1934–2010), доктор физико-математических наук, профессор. Лауреат Государственной премии (2004), премии им.С.А.Чаплыгина и премии им.М.В.Ломоносова (2008). Неоднократно публиковался в «Природе».



Евгений Ильич Гордеев, академик, доктор физико-математических наук, член Президиума ДВО РАН, директор Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. Область научных интересов — геодинамика, сейсмология и вулканология.



Олег Эдуардович Мельник, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией НИИ механики при МГУ им.М.В.Ломоносова. Занимается приложениями методов механики многофазных сред к исследованию динамики вулканических извержений. Награжден медалью им.Л.Р.Вейджера Международной ассоциации вулканологии и химии недр Земли (IAVCEI).

лометров, а цунами, вызванное обрушением вулканической постройки, обогнуло весь земной шар). Самое крупное известное извержение произошло на вул-

кане Йеллоустон (США) около 2.2 млн лет назад. Объем извергнутого материала оценивается в 2500 км³, а последствия катастрофы сравнимы с последствия-

ми столкновения Земли с крупным небесным телом.

Проявления вулканизма разнообразны: от медленного выдавливания лавовых куполов со скоростями в несколько сантиметров в секунду до гигантских взрывных извержений, когда из жерла вулкана со сверхзвуковой скоростью вырывается газопепловая струя. Столь же разнообразны и свойства магмы и состояния, в которых она может пребывать.

Магматические расплавы возникают на значительной глубине в зонах субдукции, где океаническая кора погружается под континентальные окраины, и в зонах спрединга в срединно-океанических хребтах, где непрерывно рождается новая кора, слагающая дно океанов. Вулканы также приурочены к горячим точкам, связанным с огромными восходящими потоками в мантии — плюмами, и к системам глубинных разломов, расчленяющих континенты и приводящих к образованию новых морей и океанов.

Магма начинает свой (тернистый) путь к поверхности, просачиваясь сквозь частично расплавленную мантию, и перед извержением обычно собирается в приповерхностных очагах, расположенных в земной коре. По мере подъема к поверхности однородный магматический расплав превращается в многофазную среду, содержащую жидкий расплав, кристаллы и пузырьки газа. Условия формирования магмы и ее путешествия к поверхности сильно влияют на ее свойства и характер извержения.

Например, вязкость базальтов (магм с низким содержанием оксида кремния, SiO_2) при высокой температуре может опускаться до $10 \text{ Па}\cdot\text{с}$ (сравнимо с медом или сахарным сиропом), в то же время типичная вязкость кислых магм ($\text{SiO}_2 > 54\%$) достигает 10^6 – $10^8 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Вулканы континентальных окраин поставляют лаву, богатую растворенными газами

(в основном парами воды, углекислым газом, сероводородом, фтором, хлором и др.). Растворимость газов в магме зависит в основном от давления и состава. Наиболее газонасыщенные кимберлитовые магмы выносят из глубин астеносферы алмазы. Они могут содержать десятки весовых процентов растворенного углекислого газа. Их извержение приводит к образованию знаменитых кимберлитовых трубок и воронок, заполненных раздробившимся и спекшимся материалом.

Другой важный компонент магматического расплава, определяющий режим извержения, — кристаллы. Некоторые из них зарождаются в магматических очагах перед извержением и вырастают при медленном остывании магматического расплава до размеров в несколько миллиметров и даже сантиметров (фенокристаллы). Кристаллы существенно меньшего размера — от нескольких микрометров до нескольких сотен микрометров (микролиты) — возникают в магме при подъеме из очага к поверхности. Обычно магмы, которые поднимаются быстро и извергаются взрывным образом, содержат небольшое количество микролитов, а формирующие лавовые купола и высоковязкие лавовые потоки могут содержать их до 40–50 объемных %. Общее же содержание кристаллов иногда достигает 70–85% (по объему). При больших концентрациях кристаллов эффективная вязкость магмы существенно возрастает, и она проявляет неньютоновские свойства (т.е. наступает предел текучести, наблюдается сильная зависимость вязкости от скорости деформации, появляется упругость). При некоторых извержениях происходит выдавливание лавовых обелисков, которые движутся практически как твердое тело (в конце извержения Маунт Пеле на о.Мартиника в 1902 г. высота обелиска достигла 300 м).

Режимы вулканических извержений

В зависимости от химического состава магмы, скорости ее подъема и геометрии вулканической системы извержение может происходить как в виде относительно медленного истечения лавы (эффузивный тип), так и в виде дискретных или квазистационарных газопепловых потоков (эксплозивный тип). Однако в процессе одного извержения его режим может меняться с эффузивного до eksploзивного и обратно без изменения химического состава магмы.

В маловязких базальтовых магмах по мере подъема происходит интенсивное всплывание пузырей, а затем их слияние с образованием газовых снарядов, подъем которых на поверхность приводит к дискретным взрывам, выбрасывающим фрагменты магмы на высоты до нескольких сотен метров. Характерный пример такого типа — вулкан Стромболи в Италии. Истечение лавовых потоков часто сопровождается величественными лавовыми фонтанами (вулкан Килауэа на Гавайях).

В кислых вязких магмах движения газа за счет выделения пузырьков практически не происходит. Если магма поднимается достаточно быстро, то объемная доля пузырьков может достигать 60–80%, и сплошность жидкой фазы нарушается (происходит фрагментация магмы). При этом ламинарное течение высоковязкой пузырьковой жидкости сменяется турбулентным течением газовзвеси, а вязкость несущей среды уменьшается на 10–12 порядков. При медленном подъеме пузырьки объединяются в подвижную пористую среду, в которой происходит опережающее фильтрационное движение газа. Возникает ситуация, что при одних и тех же параметрах магмы в очаге возможны два режима извержения: медленное истечение дегазирующейся магмы и высокоинтенсивное — га-

зовой взвеси. Переход между ними происходит скачкообразно и сопровождается изменением расхода магмы во многие десятилетия.

Механические модели извержений

Эксплозивные извержения. Первые попытки приложения методов гидромеханики к описанию таких извержений относятся к концу 70-х годов XX в. В ранних работах [1] для описания течения газозвеси использовался интеграл Бернулли. Канал считался абсолютно податливым, так что его форма определялась из равенства давления в газозвеси и окружающих породах. Впоследствии этот подход развития не получил. В современных моделях канал вулкана считается абсолютно жестким, хотя в последнее время делаются попытки более аккуратно учесть податливость его стенок [2]. Пионерские работы фи-

зика Ю.Б.Слезина [3] объяснили, почему одна и та же магма может извергаться как эксплозивным, так и эффузивным образом, и выявили условия перехода между режимами (рис.1). Модель, основанная на законах сохранения массы и импульса для жидкой и газовой компонент, описывает течение в канале вулкана с учетом фильтрации газа сквозь магму.

Результаты Слезина были впоследствии уточнены и развиты в наших работах в сотрудничестве с вулканологами из Бристольского университета [4]. Выяснилось, что в высоковязкой магме расширение пузырьков при подъеме идет очень медленно и давление в них оказывается существенно большим, чем в окружающей их магме. При некоторых условиях стенки пузырьков не выдерживают давления газа, происходит дробление магмы с высвобождением энергии сжатых газов [5]. Мы исследовали процесс развития извержения, вызванного разрушени-

ем лавовой пробки в жерле вулкана (рис.2) [6]. На вулкане Суффриер на о.Монтсеррат в Карибском море при одних и тех же параметрах магмы и интенсивном отделении газа из расплава в пузырьки длительность извержения составляла около 1 ч, а в случае слабого газовыделения — всего 2 мин. Объем выброшенного материала в первом случае на порядок выше. Эффективность дегазации магмы во многом определяется количеством пузырьков в единице ее объема, которое, в свою очередь, сложным образом зависит от условий подъема магмы перед взрывным процессом. Поскольку измерять данный параметр при подготовке извержения невозможно, то и предсказать силу последнего крайне трудно.

Хороший обзор моделей эксплозивных извержений можно найти в статье Д.Сахаджиана [7], предвещающей специальный выпуск «Journal of Volcanology and Geothermal Research». Этому выпуску предшествовало «соревнование» различных математических моделей (в том числе и двух, представленных нами). Участникам при заданных параметрах вулканической системы и магмы необходимо было предсказать интенсивность извержения и некоторые другие его характеристики. Интересно, что, несмотря на существенные различия в самих моделях, предсказанные расходы магмы отличались меньше чем на порядок, причем они соответствовали параметрам извержения вулкана Сент-Хеленс (1980), которые использовались в качестве определяющих. Это означает, что модели в целом правильно описывают основные механизмы эксплозивных извержений.

Экструзивные извержения. Существует зависимость между расходом магмы и количеством кристаллов в ней: чем меньше расход, тем больше кристаллов в магме содержится [8]. Кристаллизация происходит в канале вулкана при подъеме магмы, падении давления в ней

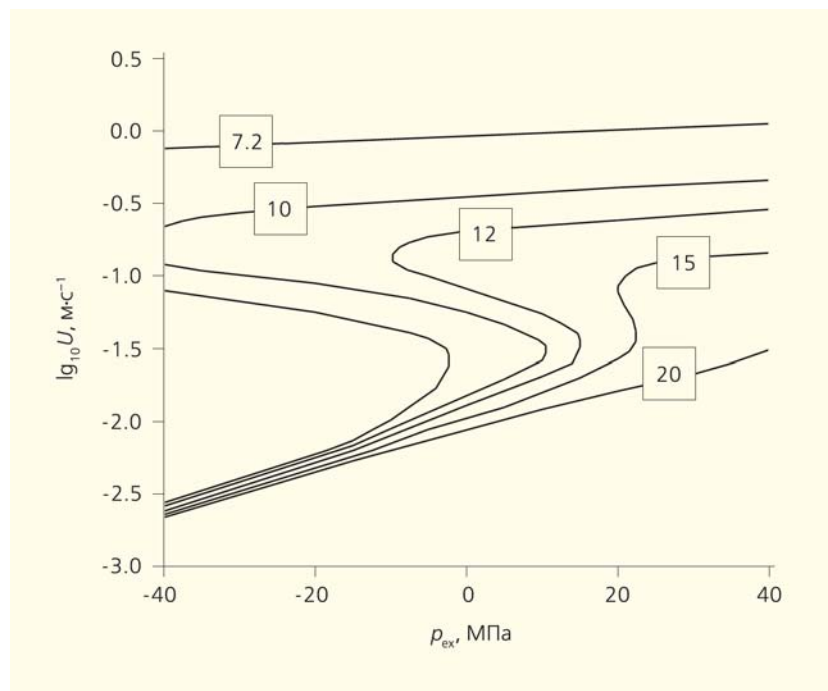


Рис.1. Зависимость скорости подъема магмы (U) от избыточного над литостатическим давления в очаге. Цифры на кривых — глубина очага. Нижние режимы соответствуют экструзивному типу извержения, верхние — эксплозивному. Переход между ними может осуществляться при изменении давления в очаге.

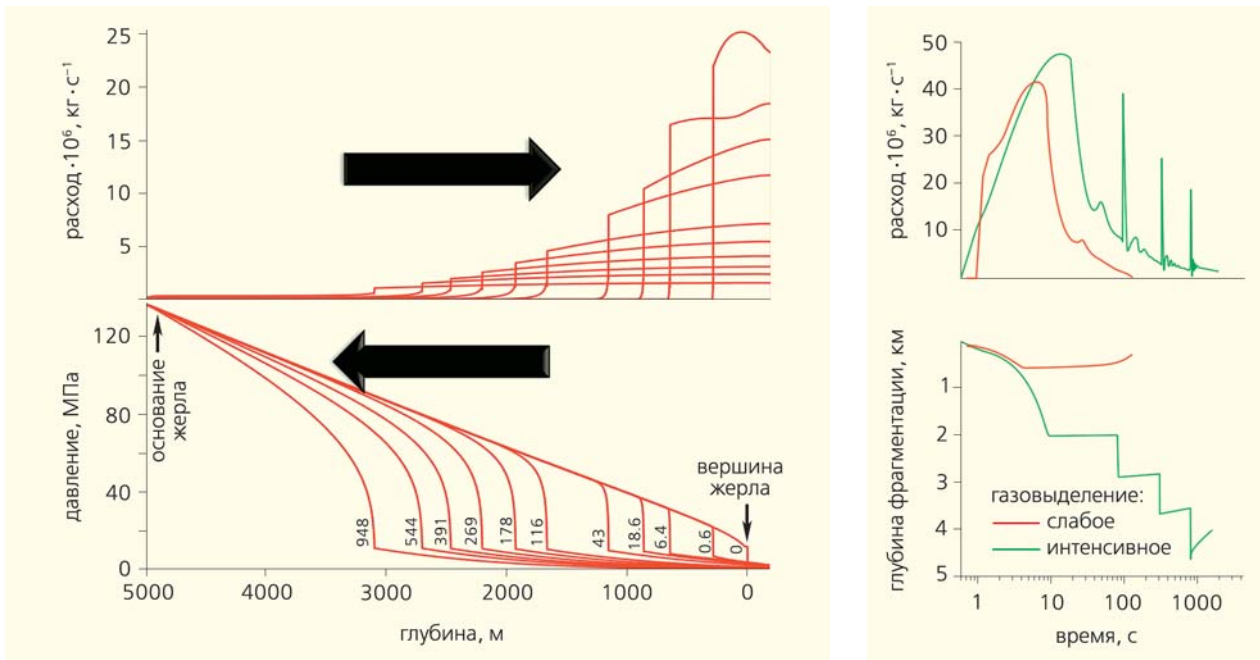


Рис.2. Развитие взрывного извержения при прорыве лавовой пробки в жерле вулкана. Слева — профили давления и расхода в канале вулкана в различные моменты времени. Внутрь канала распространяется волна разрежения, в которой происходит фрагментация магмы. Раздробленный материал выносится на поверхность. Справа — зависимость расхода магмы на выходе и глубины уровня ее фрагментации для интенсивного и слабого газоотделения. Время дано в логарифмическом масштабе.

и оттоке растворенного газа. Мы впервые провели адекватный учет влияния кинетики кристаллизации на режим извержения [9]. При медленном подъеме канал занят сильновязкой закристаллизовавшейся магмой, а при быстром концентрация кристаллов относительно невелика. В случае постоянной подпитки очага извержения свежей магмой возможны циклические режимы извержения (рис.3), связанные с переходами между различными стационарными режимами [10, 11].

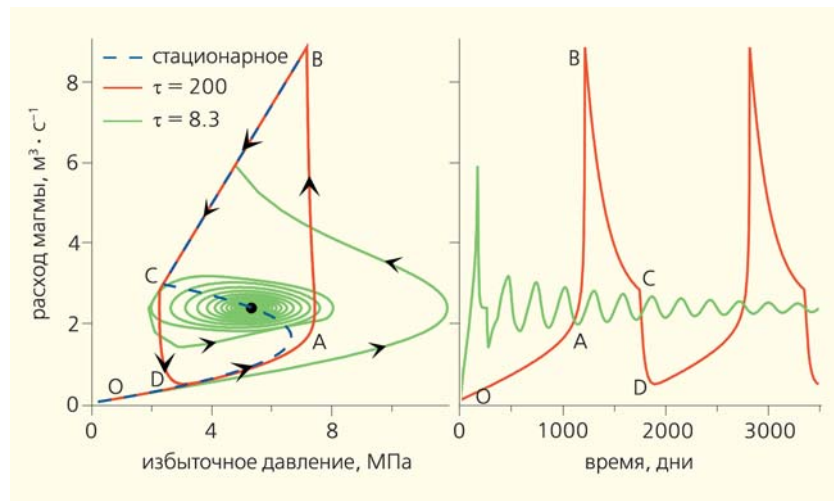


Рис.3. Зависимость расхода магмы от давления в очаге и от времени. Пунктирной кривой показано стационарное решение. Параметр τ обратно пропорционален объему очага. Для больших очагов возможны циклические режимы извержения.

Наблюдения и интерпретация

Заглянуть в земные недра действующего вулкана невозможно. Тем не менее, используя методы механики сплошной среды, можно изучать деформации поверхности вблизи вулканов, вызванные миграцией магмы в земной коре. Наиболее простым представляется использование

аналитического решения Моги, которое соответствует точечному источнику давления, расположенному под плоской поверхностью. Изменение характеристик источника интерпретируется как движение магмы.

Подобный упрощенный подход, откалиброванный для конкретных вулканов, позволяет предсказывать начало извержения, однако не позволяет реконструировать структуру питающей системы.

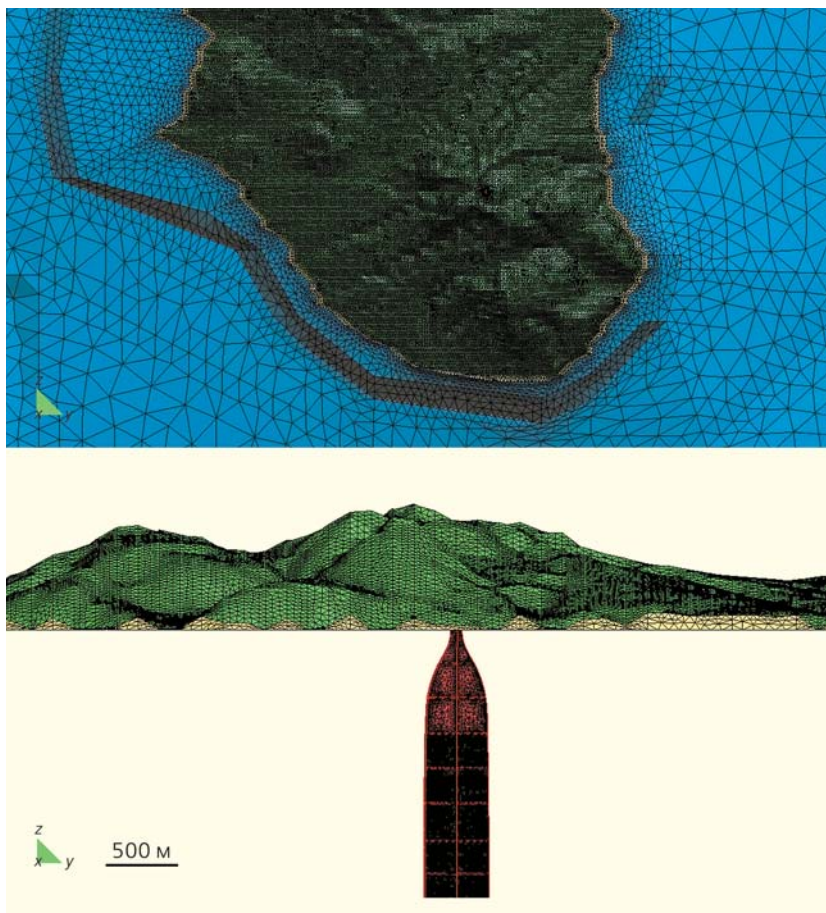


Рис.4. Трехмерная модель о.Монтсеррат в Карибском море с вулканическим каналом в виде дайки, переходящей в цилиндрический канал.

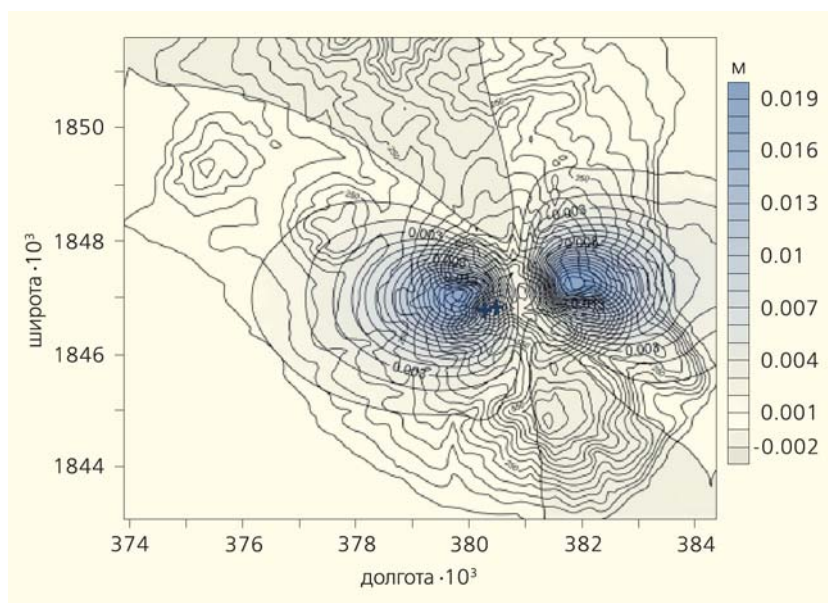


Рис.5. Поле вертикальных деформаций на о.Монтсеррат, вызванное увеличением давления в канале вулкана. Схема приведена в системе координат УТМ. Цветная шкала — вертикальные перемещения.

Более аккуратные модели основаны на решении трехмерных уравнений линейной упругости (или вязкоупругости) [12] с учетом топографии земной поверхности, неоднородности упругих свойств пород, наличия разломов. Была построена модель извержения вулкана Суфриер [13]. Распределение давления в магматическом канале рассчитывалось для течения магмы в дайке (трещине), переходящей в цилиндрический канал [14]. Учитывались реальная трехмерная топография о.Монтсеррат и увеличение модуля Юнга с глубиной. Минимизация отклонения расчетных и измеренных деформаций позволили построить адекватную модель для этого вулкана (рис.4, 5).

Активизация вулканических процессов меняет поле напряжений в породах, приводит к возникновению и росту разрывов в твердой среде. Такие разрывы образуются при обычных тектонических землетрясениях, называемых вулкано-тектоническими. Максимальная их магнитуда не превышает 4.5—5.0. Развитие во времени роев вулкано-тектонических землетрясений принципиально отличается от развития афтершоковых процессов для сильных тектонических землетрясений, когда основные напряжения, накопленные за длительное время, реализуются в результате одного или нескольких сильных событий. Рои вулкано-тектонических землетрясений могут продолжаться месяцами, а иногда и годами.

Определение параметров источника землетрясения по измерениям на поверхности — классическая обратная задача механики. Решая уравнения линейной теории упругости с учетом неоднородности среды, удалось получить искусственные сейсмограммы, которые затем сравнивались с результатами наблюдений [15].

При извержении газонасыщенных магм регистрируются

низкочастотные землетрясения, сейсмические сигналы от взрывов в кратере и вулканическое дрожание, которые связаны с движением газа в магме [16]. Энергия сейсмических сигналов, возникающих при дегазации магмы, пропорциональна объему выделенного в атмосферу газа. Взрывные извержения сопровождаются распространением акустических волн, интенсивность которых связана с величиной избыточного давления в магматическом расплаве. Отношение энергий акустических и сейсмических волн зависит от содержания газовой компоненты в магматическом расплаве [17]. По спектральному составу сейсмического сигнала можно оценить эффективную вязкость и объемную упругость магмы [18].

Моделирование вулканической опасности

Создание карт опасности для конкретных вулканов базируется во многом на решении задач механики. Одни из самых разрушительных вулканических явлений — пирокластические потоки (горячие пепло-каменные лавины). Они возникают как за счет гравитационного обрушения вулканических колонн, так и за счет направленных взрывов лавовых куполов, связанных с накоплением избыточного давления вулканических газов. Такой поток в 1902 г. разрушил городок Сент-Пьер на о.Мартиника, где в течение нескольких минут погибло более 28 тыс. жителей.

При моделировании пирокластических потоков решаются

уравнения мелкой воды с учетом внутреннего трения в самом потоке и трения о подстилающую поверхность. Рассматривается и реальная топография вулканических склонов. Наиболее известная программа расчетов TITAN2D разработана в Университете Баффало (США) [19]. Для построения карт вулканической опасности производятся вычисления, в которых входные параметры (масса оползня, его координаты, гранулометрический состав и др.) выбираются случайно методом Монте-Карло. Далее оценивается вероятность поражения местности пирокластическим потоком.

Распространение туч от вулканических взрывов в прижерловой области моделируется на основе решений трехмерных многофазных (газ и частицы



Рис.6. Форма вулканической колонны на Везувии. На переднем плане — схема Неаполя. На ней показаны кварталы, которые будут подвергнуты разрушениям.

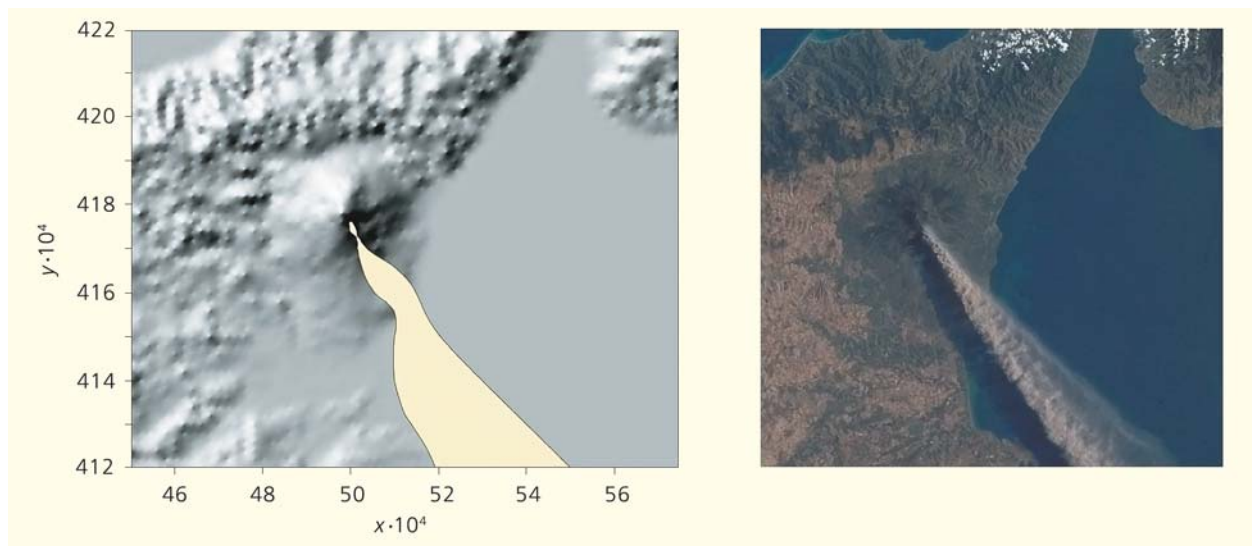


Рис.7. Моделирование распространения вулканической тучи при извержении Этны. Слева — результаты расчетов, справа — данные спутникового наблюдения. Схема приведена в системе координат UTM.

различных размеров) неизотермических уравнений Навье—Стокса с учетом межфазного взаимодействия. Впервые трехмерная модель вулканической струи в атмосфере была представлена для монодисперсной газовой взвеси [20]. Авторы исследовали эволюцию формы струи со временем при непрерывном истечении из жерла вулкана.

Группой А.Нери в Пизанском университете проводится моделирование возможных извержений Везувия для составления эвакуационных планов в Неаполе (рис.6). В модели используются законы сохранения массы,

импульса и энергии для несущей газовой фазы и пяти типов дисперсных частиц [21].

Вулканические тучи от крупных извержений распространяются вокруг земного шара и представляют большую опасность для авиации. При моделировании их распространения в реальном времени необходимо решать трехмерные уравнения адвекции—диффузии для концентрации пепла с учетом оседания частиц. Поля скоростей и турбулентных коэффициентов диффузии получают из расчетов по мезомасштабным атмосферным моделям. Параметры источника задают по данным телемет-

рических наблюдений. Далее производят расчеты полей концентрации пепла, которые направляют авиадиспетчерам. Система функционирует в автоматическом режиме. Наиболее известные программы PUFF [22] и FALL3D [23] уже несколько лет используются при моделировании пепловых туч (рис.7).

Для выяснения уязвимости инфраструктуры к воздействию лавовых потоков также применяется математическое моделирование на основе неизотермических уравнений мелкой воды с учетом реальной топографии подстилающей поверхности. Примером могут служить расчеты распространения лавового потока на вулкане Этна [24]. Сравнение с реальными извержениями в этом случае позволяет оценить вязкость лавы для дальнейшего использования в ансамблевых моделях. Уникальны полностью трехмерные расчеты течения лавы с учетом не-ньютоновской реологии и образования корки при остывании [25]. Данные полевых наблюдений показали, что рассчитанная область лавового потока с точностью $\pm 10\%$ соответствует измеренной (рис.8). С ростом производительности суперкомпьютеров подобные расчеты станут

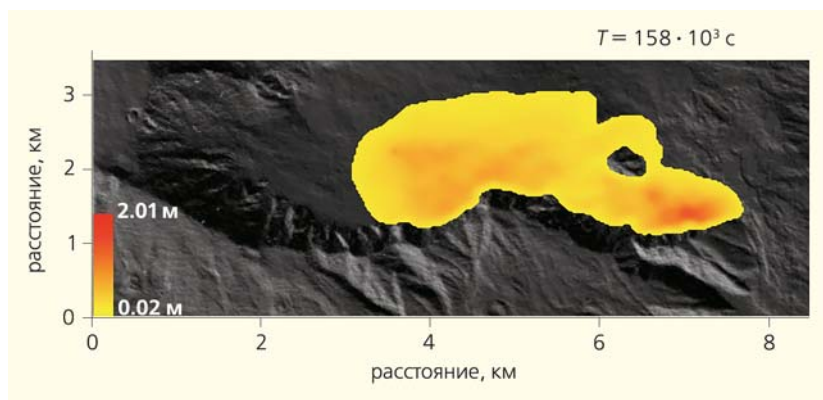


Рис.8. Моделирование распространения лавового потока на вулкане Этна. Цветная шкала — мощность лавового потока.

рутинной процедурой для вулканологических обсерваторий.

* * *

Приведенные примеры показывают, что методы механики сплошной среды играют ключевую роль как для понимания физики вулканических систем,

так и для интерпретации данных мониторинга и прогноза вулканической опасности. Во всем мире происходит тесное взаимодействие сотрудников вулканологических обсерваторий, ученых-механиков и экспериментаторов, занимающихся исследованием физи-

ческих свойств магмы. Подобные группы существуют в США, Италии, Японии и других странах с повышенной вулканической опасностью. Создание подобных структур — важная задача для повышения качества прогнозов вулканической опасности и в нашей стране. ■

Литература

1. *Wilson L., Sparks R.S.J., Walker G.P.L.* Explosive volcanic eruptions. The control of magma properties and conduit geometry on eruption column behavior // *Geophys. J. of the Royal Astronomy Society*. 1980. V.63. P.117–148.
2. *Costa A., Gottsmann J., Melnik O., Sparks R.S.J.* A stress-controlled mechanism for the intensity of very large magnitude explosive eruptions // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2011. V.310. P.161–166.
3. *Слезин Ю.Б.* Механизм вулканических извержений // *Природа*. 1998. №6. С.80–89.
4. *Melnik O., Barmin A.A., Sparks R.S.J.* Dynamics of magma flow inside volcanic conduits with bubble overpressure buildup and gas loss through permeable magma // *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 2005. V.143. №1–3. P.53–68.
5. *Alidibirov M.A., Dingwell D.B.* Magma fragmentation by rapid decompression // *Nature*. 1996. V.380. P.146–148.
6. *Бармин А.А., Мельник О.Э.* Гидродинамика вулканических извержений // *Успехи механики*. 2002. №1. С.32–60.
7. *Sabagian D.* Volcanic eruption mechanisms: insights from intercomparison of models of conduit processes // *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 2005. V.143. P.1–15.
8. *Cashman K.V.* Groundmass crystallization of Mount St. Helens dacite, 1980–1986: a tool for interpreting shallow magmatic processes // *Contributions to Mineral. Petrol.* 1992. V.109. №4. P.431–449.
9. *Melnik O., Sparks R.S.J.* Nonlinear dynamics of lava dome extrusion // *Nature*. 1999. V.402. №6757. P.37–41.
10. *Мельник О.Э., Бармин А.А., Спаркс С.* Беспокойная жизнь лавовых куполов // *Природа*. 2006. №3. С.46–55.
11. *Barmin A., Melnik O., Sparks R.S.J.* Periodic behavior in lava dome eruptions // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2002. V.199. P.173–184.
12. *Newman A.V., Dixon T.H., Gourmelen N.* A four-dimensional viscoelastic deformation model for Long Valley Caldera, California, between 1995 and 2000 // *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 2006. V.150. P.244–269.
13. *Hautmann S., Gottsmann J., Sparks R.S.J. et al.* Modelling ground deformation caused by oscillating overpressure in a dyke conduit at Soufriere Hills Volcano, Montserrat // *Tectonophysics*. 2009. V.471. P.87–95.
14. *Costa A., Melnik O., Sparks R.S.J., Voight B.* Control of magma flow in dykes on cyclic lava dome extrusion // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2007. V.260. P.137–151.
15. *Chouet B.* Origin of coda waves, source, attenuation, and scattering effects // *J. Geophys. Res.* 1997. V.102. P.15129–15150.
16. *Ripepe M., Rossi M., Saccorotti G.* Image processing of explosive activity at Stromboli // *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 1993. V.54. P.335–351.
17. *Ripepe M., Poggi P., Braun T., Gordeev E.* Infrasonic waves and volcanic tremor at Stromboli // *Geophys. Res. Lett.* 1996. V.23. №2. P.181–184.
18. *Ripepe M., Gordeev E.* Gas bubble dynamics model for shallow volcanic tremor at Stromboli // *J. Geophys. Res.* 1999. V.104. №B5. P.10.639–10.654.
19. *Pitman E.B., Patra A., Bauer A. et al.* Computing Granular Avalanches and Landslides // *Phys. Fluids*. 2003. №12. P.3638–3646.
20. *Марков В.В., Мельник О.Э.* Моделирование динамики распространения продуктов вулканических извержений в атмосфере // *Тр. МИАН*. Т.223. М., 1998. С.207–212.
21. *Neri A., Esposti Ongaro T., Menconi G.G. et al.* 4D simulation of explosive eruption dynamics at Vesuvius // *Geophys. Res. Lett.* 2007. V.34. P.L04309. doi:10.1029/2006GL028597.
22. *Searcy C., Dean K., Stringer W.* PUFF: A volcanic ash tracking and prediction model // *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 1998. V.80. P.1–16.
23. *Costa A., Macedonio G., Folch A.* A three dimensional Eulerian and deposition of volcanic ashes // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2006. V.241. №3–4. P.634–647.
24. *Costa A., Macedonio G.* Numerical simulation of lava flows based on depth-averaged equations // *Geophys. Res. Lett.* 2005. V.32. L05304. doi: 10.1029/2004GL021817.
25. *Hidaka M., Goto A., Umino S., Fujita E.* VTFS project: development of the lava flow simulation code LavaSIM with a model for three-dimensional convection, spreading, and solidification // *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2005. №6. Q07008, doi:10.1029/2004GC000869.

Кимберлиты — мантийные флюидзиты

А.М.Портнов

Ежегодно из кимберлитовых трубок на нашей планете добывается около 25 т технических и ювелирных алмазов стоимостью (в необработанном виде) около 12 млрд долл. Жизнь десятков миллионов людей связана с этим сырьем: они его ищут, добывают, обрабатывают, продают. Но роскошные камни служат не только для удовлетворения безмерного человеческого тщеславия и тяги к блестящим дорогим безделушкам. Использование алмазных инструментов более чем вдвое повышает экономический потенциал любой развитой страны.

Но на простой вопрос, как образуются алмазы в природе, однозначного ответа до сих пор нет. Считается, что они кристаллизовались в неведомых глубинах мантии, а кимберлитовые «трубки взрыва», приуроченные к платформам, выносили их к земной поверхности. В этой общепринятой версии неясна и связь кимберлитов с платформами, и причины возникновения самих трубок, и механизм образования алмазов.

Загадки кимберлитов

Алмазам и алмазоносным породам мантии — кимберлитам — посвящены тысячи научных статей и монографий. Но они не объясняют три главные загадки коренных алмазных месторож-



Александр Михайлович Портнов, доктор геолого-минералогических наук, профессор Российского государственного геологоразведочного университета им.С.Орджоникидзе. Область научных интересов — минералогия и геохимия рудных месторождений.

дений. Почему кимберлиты расположены только на «платформах» — самых стабильных и мощных блоках земной коры? Какие чудовищные силы заставили тяжелые породы мантии Земли нарушить закон Архимеда, рвануться вверх и пробить 40 км более легких пород — базальтов, гранитов, осадочных? И почему кимберлитовые трубки прокалывают именно мощную земную кору платформ, а не тонкую 10-километровую кору океанического дна или переходной зоны на границе континентов с океанами, где на глубинных разломах сидят сотни дымящихся вулканов и лава свободно изливается на поверхность?.. Ответов на эти вопросы у геологов нет.

Другая загадка — удивительная форма кимберлитовых трубок. Это не «трубки», а, скорее, «бокалы для шампанского» — конусы на тонкой ножке, уходящей в глубины мантии. Специалисты называют их «трубками взрыва», хотя при подземных

взрывах формируются вовсе не трубки, а сферы. Разбурены многочисленные так называемые «камуфлетные камеры» — пустоты, оставшиеся после мощных подземных ядерных взрывов. Все они имеют сферическую форму. Но ведь кимберлитовые трубки-конусы действительно существуют! Как они возникли? Удовлетворительного ответа на этот вопрос тоже нет.

Третья загадка касается необычной формы минеральных зерен в кимберлитах. Известно, что минералы, которые первыми кристаллизуются из расплавленной магмы, всегда образуют хорошо ограненные кристаллы. К ним относятся апатит, гранат, циркон, оливин, ильменит, хромдиопсид, распространенные и в кимберлитах. Но здесь у них всегда отсутствуют кристаллические грани. Они округлены и по форме напоминают окатанную речную гальку. Геологи пытаются объяснить эту загадочную особенность оплавлением в раскаленной магме. Плавление,

как известно, ведет к превращению минералов в аморфное стекло, лишенное структуры. Однако никаких следов «остеклования» и потери кристаллической структуры в этих округлых зернах найти не удастся.

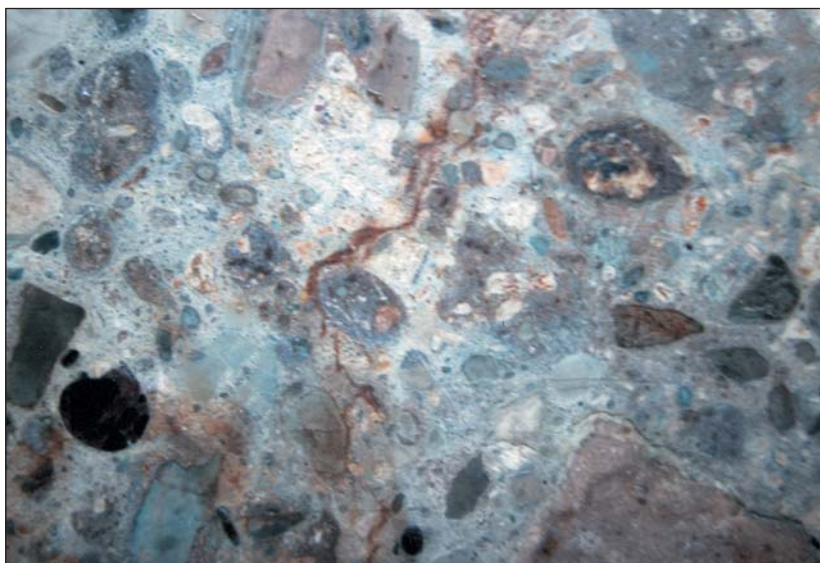
Зато алмазы представлены на обогатительных фабриках целыми горами сверкающих, идеально образованных октаэдров или ромбододекаэдров с острыми ребрами. По существующим воззрениям, они возникли в глубинах мантии и были вынесены уже «в готовом виде» вместе с кимберлитовой магмой с глубины 150–200 км. Эти кристаллы почему-то сохранились, несмотря на хрупкость, обилие внутренних напряжений и способность легко раскалываться по определенным плоскостям.

Выходит, что алмазы, прошедшие весьма длинный путь с расплавленной магмой, выглядят так, словно только что сошли с заводского конвейера. Но кристаллы граната, циркона, апатита и других минералов, вроде бы выделившиеся из расплава непосредственно в трубке, лишены четких граней. Почему возник такой парадокс?

Существуют и другие загадки. Например, почему ничтожны приконтактные изменения окружающих пород; почему в кимберлитах накапливается радиоактивный Pb^{206} ; почему изотопия углерода и азота в центрах кристаллов алмаза и снаружи резко различается; как возникает уникальная «микроминералогия» алмазов, представленная самородными металлами; откуда бе-

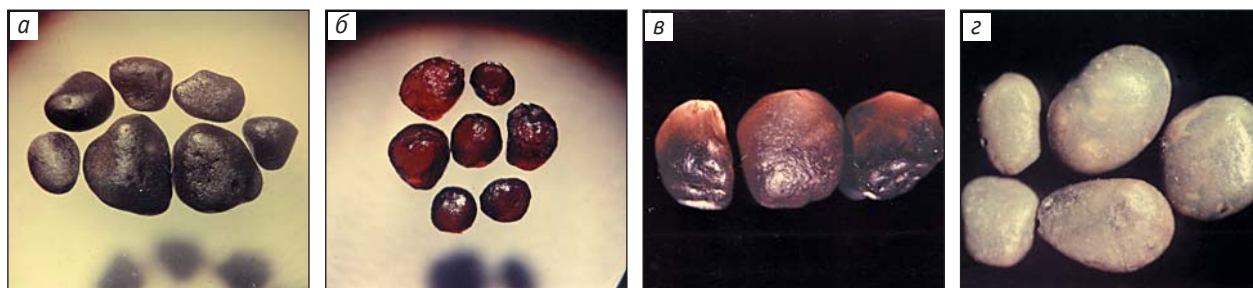


Трубка «Мир». Якутия.



Кимберлит из трубки «Мир» (Якутия). Текстура кимберлита похожа на цементированную речную гальку. Минералы глубинных пород лишены кристаллических граней и округлены (ксеноморфны). Обломки осадочных пород угловаты. Нат. вел.

Фото автора



Ксеноморфные зерна ильменита (а), пиропы (б), циркона (в), апатита (г). Трубка «Мир». Нат. вел.

Фото автора

ругся вокруг трубок люминесцентные ореолы; каковы причины резкого обогащения кимберлитов радиоактивными, редкими и рассеянными элементами, несмотря на практически стерильную по ним мантию? Вопросов много, но классическая теория происхождения кимберлитов и алмазов не может на них ответить.

Кимберлитовые трубки — «дымоходы» мантии

Обширный аналитический и экспериментальный материал позволил предложить новую модель образования кимберлитовых трубок и алмазов, способную объяснить эти загадки [1]. В основе модели — информация о водородно-метановой дегазации Земли. Кимберлитовые трубки рассматриваются как дыпиры — следы, оставшиеся после «прокола» литосферы поднимавшимися из мантии огромными газовыми пузырями.

Платформы похожи на блюдца, плавающие в аквариуме, со дна которого поднимаются пузырьки воздуха. Пузырьки обтекают блюдце, но часть газа скапливается под его дном. Вулканы — прямое свидетельство обилия газов, выделяющихся по глубинным разломам литосферы вокруг окраин платформ. О больших глубинах говорит и тот факт, что гелий здесь резко обогащен мантийным изотопом He^3 . В отличие от окраин, газы центральных частей платформ содержат He^3 в тысячу раз меньше, чем вулканические. Это означает, что платформы служат «заслонками» для мантийных газов.

Вулканы и горячие точки — действующие дымоходы Земли. Они работают исправно, если газовый путь не перекрыт «заслонками». Платформенная кора настолько мощна, что у горячей точки не всегда хватает энергии, чтобы ее прожечь, но достаточно, чтобы расплавить породы на глубине и со-

брать рассеянные в них газовые включения в огромные пузыри с критическим объемом около кубического километра.

Как известно, крохотные капельки жира в молоке не всплывают до тех пор, пока энергия масляной пленки не слепит достаточно большой объем масла. Когда горячие точки сформируют под платформами крупные газовые пузыри, действует закон Архимеда. Плотность смеси H_2-CH_4 даже при мантийном давлении значительно меньше плотности воды. Плотность мантии около 3.2 г/см^3 . Значит, подъемная сила пузыря объемом в 1 км^3 составит более 2.5 млрд т, а нагреет газ до $600-800^\circ\text{C}$.

Сужение кимберлитовых трубок на глубине в тонкую «ножку» — свидетельство того, что огромная подъемная сила флюидного диапира прикладывается к очень малой площади, создавая «эффект иглы», способной проколоть десятки километров прочнейших горных пород. По тонкому каналу длиной 150—200 км мантийный газовый пузырь пробивается вверх, пока не внедрится в мягкие породы осадочного чехла, раздвигая их, — так формируется расширение кимберлитовой трубки.

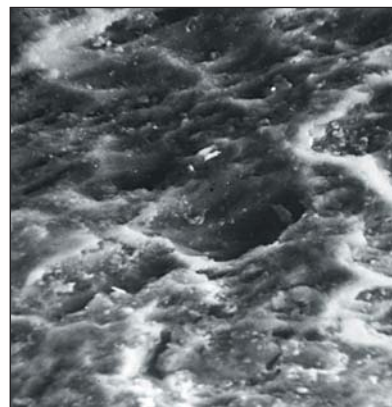
Минералы — индикаторы воздействия флюида

Подъем газовой колонны создает зону пониженного давления в ее основании. Перекристаллизованные мантийные породы дробятся и устремляются в тонкий пробой. Газ «тащит» их сквозь земную кору. Зерна минералов мчатся в конвекционных потоках флюида. Кристаллы обдираются, теряют грани, идет процесс, называемый ювелирами «галтовкой». В результате возникает глубинная галька. Так образуется флюидизит — смесь газовых потоков, мантийной пыли и отдельных минеральных зерен.

Эта фантазмагорическая картина напоминает сцену из 17-й

песни «Божественной комедии» Данте. Там описывается, как гигантский дракон хвостом, заостренным, словно жало скорпиона, с помощью огня, пыли и раскаленного песка просверливает земные недра в седьмом кругу ада.

Надкритический газовый поток обладает высокой растворяющей способностью. Флюид экстрагирует и концентрирует редкие элементы. Поэтому кимберлит — порождение стерильной мантии — содержит урана, тория, бора, бария, свинца, редкоземельных элементов в сотни и тысячи раз больше, чем сама мантия [2]. Минералы в надкритическом флюиде приобретают особую матовую поверхность, которую геологи называют «шагренью». При увеличении в тысячи раз видно, что это микропористая коррозионная структура, напоминающая губку. Зерна оливина, пирропа, циркона, апатита, ильменита, а иногда и алмаза покрыты шагренью и цементируются серпентином — главным минералом кимберлитовых трубок, содержащим 12% воды, который возникает при гидратации мантийной оливиновой пыли. Похожие структуры образуются при воздействии раскаленных газов на поверхность метеоритов или лопаток газовых турбин [3].



Шагрень — матовая коррозионная поверхность на ксеноморфных кристаллах оливина. Стереоскан. Трубка «Мир». Увел. 5000.

Фото автора

Структуры минералов хранят память также о прокаливании — влиянии высокотемпературных газов. Появление голубой флуоресценции Eu^{2+} и полимеризация радикалов (превращение фосфатного радикала $[\text{PO}_4]^{3-}$ в $[\text{P}_2\text{O}_7]^{4-}$) в апатитах из кимберлитов свидетельствуют об их прогреве в восстановительной среде [4].

Алмазы — «сажа» мантии

Почему же так прекрасно ограничены кристаллы алмазов? Ведь считается, что магма извлекла их из «каменных пещер» мантии и тащила вверх более сотни километров! Твердость их не спасает. Известно, что алмазы в россыпях окатаны и оббиты, поскольку минерал-то хрупкий. В бесчисленных учебниках приведены диаграммы равновесия алмаз—графит и написано, что алмаз возникает из графита. Но графит неустойчив в условиях мантии. Здесь появляются глубинные минералы, возникающие при обилии водорода, — карбиды, нитриды, фосфиды. Обычный глубинный устойчивый «карбид» водорода — метан — подвижный и легко концентрирующийся в глубинном флюиде газ.

Геологов смущает, что сотни тонн технических алмазов ежегодно синтезируют из расплава железа, насыщенного углеродом. Простота процесса заставляет их искать, но пока безуспешно, похожие процессы и в природе. Но в кимберлитах железо входит в состав силикатов, в которых растворимость чистого углерода ничтожна. Зато водород и метан присутствуют там постоянно.

Технический синтез основан на том, что при 1200°C и давлении в тысячи бар расплав железа недосыщен по растворимости в нем графита и пересыщен — по растворимости алмаза. Иначе говоря, графит в металле растворяется легко, но алмаз — трудно. К природному

процессу такой синтез не имеет никакого отношения. Зато ученые не придали значения замечательному исследованию советского физика Б.Дерягина, который еще в 1969 г. получил диплом АН СССР об открытии «за синтез алмаза из метана» при давлении даже ниже атмосферного! Он доказал, что алмаз — необязательно высокобаричный минерал и в данном случае возникает не из расплава, а из газовой фазы, а в природе выступает как продукт диссоциации метана, оседающий в кимберлитовых трубках.

Синтез ювелирного алмаза из газа

В XXI в. на Западе появились многочисленные патенты по изготовлению пленок и крупных алмазных пластинок из водородно-метановых смесей. Эти работы завершились сенсационными результатами группы американских ученых из Института Карнеги в Вашингтоне под руководством Р.Хемли (R.J.Hemley). В последние годы американцы получили из водородно-метанового газа огромные прозрачные алмазы весом до 32 карат (карат — 0.2 г), Хемли же утверждает, что по его технологии можно выращивать кристаллы величиной с футбольный мяч, лишь бы они помещались в микроволновую печь, в которой идет синтез.

Такие гиганты будут весить не меньше пуда! Напомню, что «Куллинан», крупнейший в мире алмаз из Южной Африки, найденный в 1905 г., весил всего ~620 г и был размером с кулак. Эти открытия в корне меняют существующие представления об алмазе как о минерале, кристаллизующемся в мантии исключительно из силикатных или металлических расплавов и при высоких давлениях. Но подобные работы представляют смертельную опасность гигантской алмазодобывающей промышленности и ценности мировых «алмазных фондов».



Синтетический кристалл ювелирного алмаза, выращенный из газа группой специалистов под руководством Рассела Хемли (США). Увел. 5.

Как растет алмаз из метана в природе? Ведь там нет СВЧ-печи. Что заставляет метан частично окисляться, теряя водород, и превращаться в сокровище? В поисках ответа я наткнулся на необычную работу американского физика Р.Х.Митчела (R.H.Mitchell), показавшего, что при сверхвысоком давлении в системе С—Н—О кислород теряет свои окислительные свойства и даже водород остается инертным [5]!

Стали ясны условия разложения метана. Экстраполяция данных Митчела в область сверхвысоких давлений позволила рассмотреть возможность кристаллизации алмаза из метана в условиях увеличения активности кислорода. При формировании кимберлитовой трубки давление падает. Достаточно уменьшить давление в 10 раз (от 50 до 5 кбар), чтобы активность кислорода возросла в тысячи раз: он мгновенно окисляет водород и метан. Газ самовоспламеняется, и в подземной трубе вспыхивает огонь. Свободный водород и водород метана окисляются.

Итог подземного «пожара» зависит от соотношения углерода, водорода и кислорода во флюиде. Известно, что окисление метана идет в несколько этапов: сначала окисляется водород, позже — углерод. Если кислорода не слишком много, он вырвет из молекулы метана лишь водород — по схеме $\text{CH}_4 + \text{O}_2 = \text{C} + 2\text{H}_2\text{O}$. Пары воды поглотит оливиновая пыль с образованием

серпентинита. Оставшийся «одиноким» ионизированный углерод под давлением в тысячи атмосфер и при температуре около 1000°C замыкается ненасыщенными ковалентными связями «сам на себя» с возникновением гигантской молекулы чистого углерода — алмаза [6].

В далеком 1982 г. я построил модель роста алмазов в кимберлитах и послал письмо в Президиум АН СССР с предложением рассмотреть процесс синтеза алмаза в системе С–Н–О. Но ответа не получил, а коллеги-геологи до сих пор повторяют рассказ о загадочных «трубках взрыва», выносящих кристаллы алмаза из «каменных пещер» мантии.

В природе благоприятное для возникновения алмаза сочетание газов встречается редко: лишь 3–5% кимберлитовых трубок алмазоносны. При избытке кислорода в метане сгорит не только водород, но и углерод. Он превратится в оксиды — H_2O , CO и CO_2 . Так возникают безрудные кимберлиты, отличающиеся повышенной магнитностью за счет появления магнетита. Это означает, что кислорода было так много, что он «вырвал» железо из силикатов мантии — оливина и пироксена — и превратил его в магнетит. Алмаз, возникающий при сгорании водорода в молекуле метана, — аналог сажи, осевшей в «дымоходах» мантии.

Эксперименты по взрывному синтезу указывают, что алмазы растут за тысячные доли секунды — практически мгновенно [7]. Значит, в метановом флюиде вокруг «глоотающих» газообразный углерод алмазных кристаллов возникает зона пониженного давления, где резко увеличивается активность кислорода. Можно предположить, что кристаллизация сопровождается появлением бесчисленных вспышек-взрывов. Взрывной кристаллизации способствует необыкновенно высокая теплопроводность алмаза, при которой в объеме кристалла температура быстро выравнивается. Дейст-

вительно, авторы патентов, посвященных кристаллизации алмазов при участии газовой фазы, отмечают взрывы в кристаллизационной камере. Возможно, что во мраке подземелий рождение алмазов напоминает мерцание светлячков...

Изотопия алмазов подтверждает...

Горение метана увеличивает активность кислорода и отражается на изотопном составе углерода и азота, входящих в состав алмазов, поскольку в окислительной среде концентрируются тяжелые изотопы этих элементов. Тонкие анализы, проведенные на зональных кристаллах алмазов из кимберлитов, показали: внутренняя часть кристаллов обычно обогащена легким изотопом углерода ($\delta^{13}C$ от -17 до -9%), тогда как внешние зоны тех же кристаллов обогащены тяжелым изотопом ($\delta^{13}C$ от -7 до -4%).

Аналогично ведут себя изотопы азота. Например, во внутренних частях кристаллов алмаза из кимберлитов Заира преобладает легкий изотоп $\delta^{15}N = -5.8\%$, а во внешних резко концентрируется тяжелый: $\delta^{15}N = +13.4\%$ [8]. Известно, что легкие изотопы углерода и азота накапливаются в восстановительной среде, а тяжелые — в окислительной. Резкая концентрация тяжелых изотопов углерода и азота во внешней зоне кристаллов свидетельствует о быстром увеличении роли кислорода [8].

Алмазы моложе своих включений

Высокая теплопроводность алмазов позволяет им расти очень быстро, поэтому они похожи на своеобразные «консервные банки», захватившие из газа многочисленные включения минералов глубинных пород. Определение абсолютного возраста таких минеральных фаз иногда

совпадает с геологическим возрастом кимберлитовых трубок, но чаще они оказываются более древними.

Так, например, в трубке «Кимберли» из Южной Африки, внедрившейся в окружающие породы 85 млн лет назад, возраст граната пироба, определенный самарий-неодимиевым методом, составляет 3.2 млрд лет. В якутской трубке «Удачная», прорвавшей осадочные породы возрастом 425 млн лет, включения клинопироксена (по калий-аргоновому методу) показывают, что им 1149 млн лет [9].

Анализ древних включений в алмазах из «молодых» трубок выполнено много. Из таких определений геологи обычно делают вывод, что алмазы кристаллизовались в мантии миллиарды лет назад, а затем «взрывы» выбросили их к поверхности Земли. Заключение это некорректно, поскольку возраст алмазов бездоказательно принимается равным возрасту включений. Скорее всего, включения древних минералов мантии просто захвачены растущими кристаллами из мантийной пыли флюидизита. Алмазы возникают вместе с кимберлитами, и их настоящий возраст соответствует геологическому возрасту трубки (т.е. он гораздо меньше).

В алмазах при электронномикроскопическом изучении найдены очень редкие минералы: крохотные чешуйки самородного железа, никеля, хрома, серебра, а также зерна сульфидов никеля и железа [10]. Минералы эти тоже молодые, они возникли вместе с трубками из пыли флюидизитов. Как же они попали в алмазы? Думаю, что металлы были заимствованы из древних силикатов мантии с повышенными концентрациями железа, никеля, серебра и мантийного оксида — хромита (содержащего до 60% окиси хрома). Во флюидизите действуют мощные восстановители — H_2 и CO , которые «создают» металлы, как в доменной печи. Примесь H_2S превратила некоторые

из них в сульфиды. В кимберлитах самородные металлы не найдены, но алмазная «броня» сохранила неустойчивую сульфидно-металлическую пыль.

«Сухие» контакты кимберлитов

Загадкой для геологов длительное время оставались и резкие «сухие» контакты кимберлитовых трубок с окружающими породами. Специалисты привыкли, что около горячих магматических пород возникают мощные измененные зоны. А вокруг кимберлитов изменения в осадочных породах ничтожны. Это явление связано с тем, что теплоемкость газов, формировавших кимберлиты, в 2–3 тыс. раз ниже теплоемкости силикатного расплава в том же объеме. В итоге газ быстро остывает, соприкасаясь с холодными окружающими породами.

На самом деле контактовые изменения вблизи кимберлитовых трубок имеют, но носят необычный характер. Вокруг трубок возникают мощнейшие (до полукилометра!) ореолы концентрации мельчайших зерен люминесцирующих минералов.

А.Г.Бушев из Всероссийского института минерального сырья проделал уникальную и в полном смысле этого слова тяжелейшую работу по изучению люминесценции керн из хранилищ в районах кимберлитовых трубок Якутии [11]. Он установил, что вокруг трубок в осадочных породах в десятки и сотни раз увеличивается содержание светящейся кимберлитовой пыли. Оказалось, что эти породы содержат мельчайшие зерна апатита и циркона, люминесцирующих в ультрафиолетовых лучах.

Апатит в ореоле кимберлитов светится не желтым (за счет Mn^{2+}), как обычно, а голубым светом. Фотолюминесценция обусловлена присутствием Eu^{2+} . Такие люминесцентные ореолы

можно объяснить только мощной «продувкой» пористых осадочных пород глубинным флюидом под давлением в тысячи бар, который несет характерные элементы и минералы, присущие кимберлитам [11].

Подземный азростат с мантийными газами

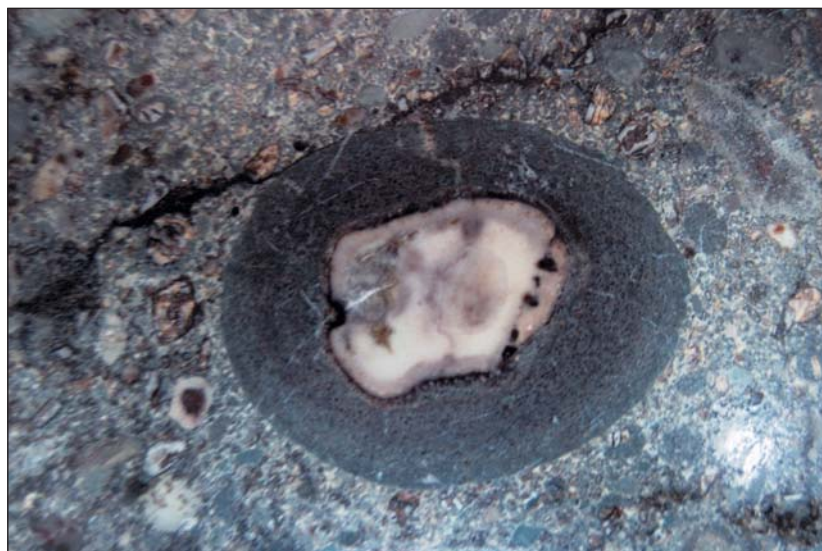
Итак, весьма вероятно, что кимберлиты не доходили до поверхности Земли и алмазоносных вулканов не существовало. Рождение алмазов в процессе эволюции мантийного флюида позволяет объяснить сохранность идеальных кристаллов на фоне кимберлитовой «галки», состоящей из окатанных, частично растворенных и лишенных граней, других глубинных минералов, сцементированных серпентином.

На кристаллизацию алмазов из газа указывает также присутствие в них азота (до 0,3%), а иногда — «летучего» бора. В ультраосновных мантийных породах практически нет ни азота, ни бора, но во флюиде и в кимберлитах эти элементы резко концентрируются, по-

скольку образуют газообразные соединения с водородом.

Видимо, накапливался во флюиде и радон, о былом присутствии которого свидетельствует открытое американским геохимиком Б.Смитом аномальное обогащение кимберлитов радиогенным изотопом свинца Pb^{206} [12]. Смит на этом основании сделал вывод об избытке в мантии урана — на наш взгляд, несколько сомнительный, так как анализы ультраосновных пород, как известно, показывают практически полное отсутствие урана и тория. Думается, что тот же эффект может дать естественное накопление во флюиде радона, заимствованного из земной коры и в течение нескольких дней превращающегося именно в Pb^{206} . Кстати, радон — сильнейший альфа-излучатель — мог также создать загадочные зеленые алмазы, окраска которых, как установил еще П.Кюри, связана с воздействием альфа-частиц.

За счет неполного окисления метана современная промышленность ежегодно получает миллионы тонн сажи, 80% которой идет на производство автомобильных шин. Огромное ее



«Автолит» — структура «снежного кома», возникшая в результате налипания серпентинитовой пыли (серое) на обломок известняка (белое в центре) в газовых потоках в кимберлитовой трубке. Нат. вел.

Фото автора

количество оседает на стенках бесчисленных труб (печных, фабричных, заводских). И это никого не удивляет. А вот привыкнуть к мысли, что алмаз тоже сажа, только мантийная, геологам трудно. Такой вывод кажется кощунственным.

Чтобы упрощенная аналогия «трубок взрыва» с печными трубами не вредила пониманию природного процесса, замечу, что кимберлитовые трубки не образовывали вулканов, не выходили на поверхность Земли и не коптели небо. Кимберлит — не магматическая порода, а, скорее, аналог вулканического туфа — мантийный флюиди-

зит, но потерявший газ и оставшийся в глубинах Земли. Поэтому структура его должна называться не порфировой, а брекчиево-конгломератовой. Если преобладают угловатые обломки осадочного чехла, возникает брекчия, а если много окатышей глубинных минералов — то конгломерат. Шаровидные образования в кимберлитах, похожие на теннисные мячи и называемые «автолитами», скорее всего «слеplены» газовыми потоками из липкой серпентинитовой пыли при гидратации глубинного раздробленного оливина.

Флюидизит «зависал» в осадочных слоях земной коры, по-

добно тому как аэростат с газовой горелкой висит в атмосфере, израсходовав энергию на подъеме. Поэтому никому из геологов не удалось найти вулканы, разбрасывающие вокруг себя кимберлиты и кристаллы алмазов. Для разведчика это означает, что существует множество «слепых» трубок, не выходящих на поверхность. Об их присутствии можно узнать по наличию локальных магнитных аномалий, верхняя кромка которых располагается на глубине в сотни, а если повезет, то и десятки метров. Эти невоскрытые эрозией трубки хранят алмазы для будущих поколений. ■

Литература

1. *Портнов А.М.* Флюидный диапиризм как причина формирования кимберлитовых трубок и карбонатитовых массивов // Докл. АН СССР. 1979. Т.246. №2. С.415—420.
2. *Илупин И.П., Каминский Ф.В., Францесон Е.В.* Геохимия кимберлитов. М., 1978.
3. *Портнов А.М., Гафт М.Л.* Минералы-индикаторы флюидного режима минералообразования // Записки Львовского ун-та. 1992. №2. С.81—85.
4. *Портнов А.М.* Кимберлиты — мантийные флюидизиты // Известия вузов. Сер. геол. 1996. №5. С.111—116.
5. *Mitchell R.H.* Theoretical aspects of the gasses and isotopic equilibria in the system CHOS with application to kimberlites // Phys. Earth. 1975. V.9. P.12—72.
6. *Портнов А.М.* Самоокисление мантийного флюида и генезис алмазов кимберлитов // Докл. АН СССР. 1982. Т.267. №4. С.942—945.
7. *Дигонский С.В., Тен В.В.* Неизвестный водород. СПб., 2006.
8. *Фор Г.* Основы изотопной геологии. М., 1989.
9. *Harris G.W.* The properties of natural and synthetic diamonds // Diamond Geology. London. 1992. P.345—393.
10. *Горшков А.И., Титков С.В., Плешаков А.М., Бершов Л.В.* Включения самородных металлов и других минеральных фаз в карбонадо из области Убанги (Центральная Африка) // Геология рудных месторождений. 1996. Т.38. №2. С.35—44.
11. *Бушев А.Г.* Люминесцентные ореолы кимберлитовых трубок Якутии и Архангельской области. М., 1998.
12. *Smith B.S.* Pb, Sr and Nd isotopic evidence for sources of Southern African Cretaceous Kimberlites // Nature. 1983. V.304. №7. P.51—54.

Символ Гондваны

С.В.Наугольных

Мысль написать эту статью у меня зрела давно. В палеозойской палеоботанике мало найдется растений, о которых знает большинство палеонтологов и геологов самого широкого профиля, а кроме них — еще и обширная армия любителей естествознания. Одно из таких растений — глоссоптерис.

Размышляя о путях развития органического мира в позднем палеозое, забыть о роде глоссоптерис (*Glossopteris*) и группе голосеменных растений-глоссоптерид, к которой он принадлежал, просто невозможно. Будем ли мы рассуждать о гигантском южном материковом покровном оледенении карбона, о происхождении цветковых растений или о массовом вымирании на рубеже перми и триаса, — так или иначе мы вспомним о роде глоссоптерис и его родственниках.

Капитан Роберт Скотт, из последних сил пробираясь между занесенными снегом антарктическими торосами, среди инструментов и жизненно необходимых припасов хранил куски песчаника с отпечатками листьев глоссоптериса, найденные им в Трансантарктических горах. Листья глоссоптериса можно увидеть на почтовых марках Индии и Мозамбика, стилизованные изображения глоссоптерид украшают эмблемы и логотипы многих научных конференций и симпозиумов, посвященных гондванской флоре. Именно ископаемые остатки



Сергей Владимирович Наугольных, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Геологического института РАН. Научные интересы: палеоэкология, систематика и эволюция высших растений, изучение палеопочв. Постоянный автор «Природы»

глоссоптериса, найденные в Индии, Африке, Австралии, Южной Америке, Антарктиде и на Аравийском полуострове, помогли расшифровать тайну суперматерика Гондваны, объединявшего в конце палеозоя все южные континенты. Справедливости ради надо отметить, что поздние глоссоптерисы были найдены не только на материках Гондваны, но и по периферии древнего океана Тетис, где эти растения проникали и в пределы соседних палеофлористических областей. К настоящему времени найдены и изучены во всех подробностях остатки глоссоптерид анатомической сохранности [2]; установлено даже, что эти растения были зооидогамными* [3].

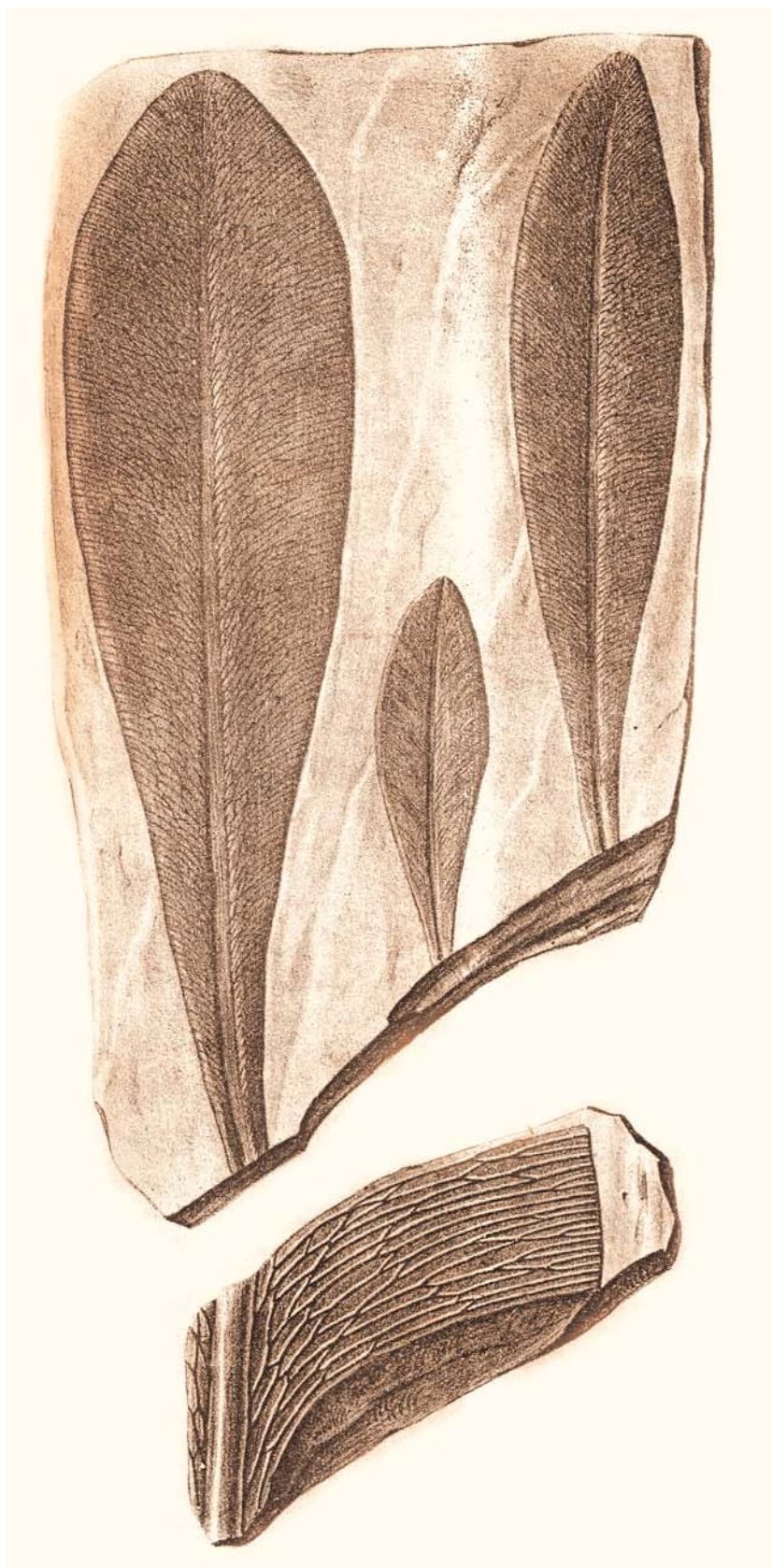
Все размышления о морфологии и биологии глоссоптерид для меня оставались сугубо теоретическими, пока несколько

лет назад меня не пригласили принять участие в обработке коллекции растительных остатков, собранных на берегах озера Бивер в далекой Антарктиде участниками Российской антарктической экспедиции. Большую часть коллекции составляли остатки побегов хвощевидных, однако помимо них присутствовали и корневые системы глоссоптерид, сохранившиеся *in situ*, то есть непосредственно на месте произрастания материнских растений. Такие корни встречались палеоботаникам и раньше. Они получили собственное название — вертебрарии (*Vertebraria*). Именно вертебрарии помогли разобраться с тем, в каких условиях глоссоптериды произрастали. Но об этом немного позже.

Решенные и нерешенные загадки глоссоптерид

Разными авторами глоссоптеридам приписываются репродуктивные органы разнообраз-

* Зооидогамия (зоидогамия) — оплодотворение семязачатка с помощью мужских гамет, содержащихся в подвижных сперматозоидах.



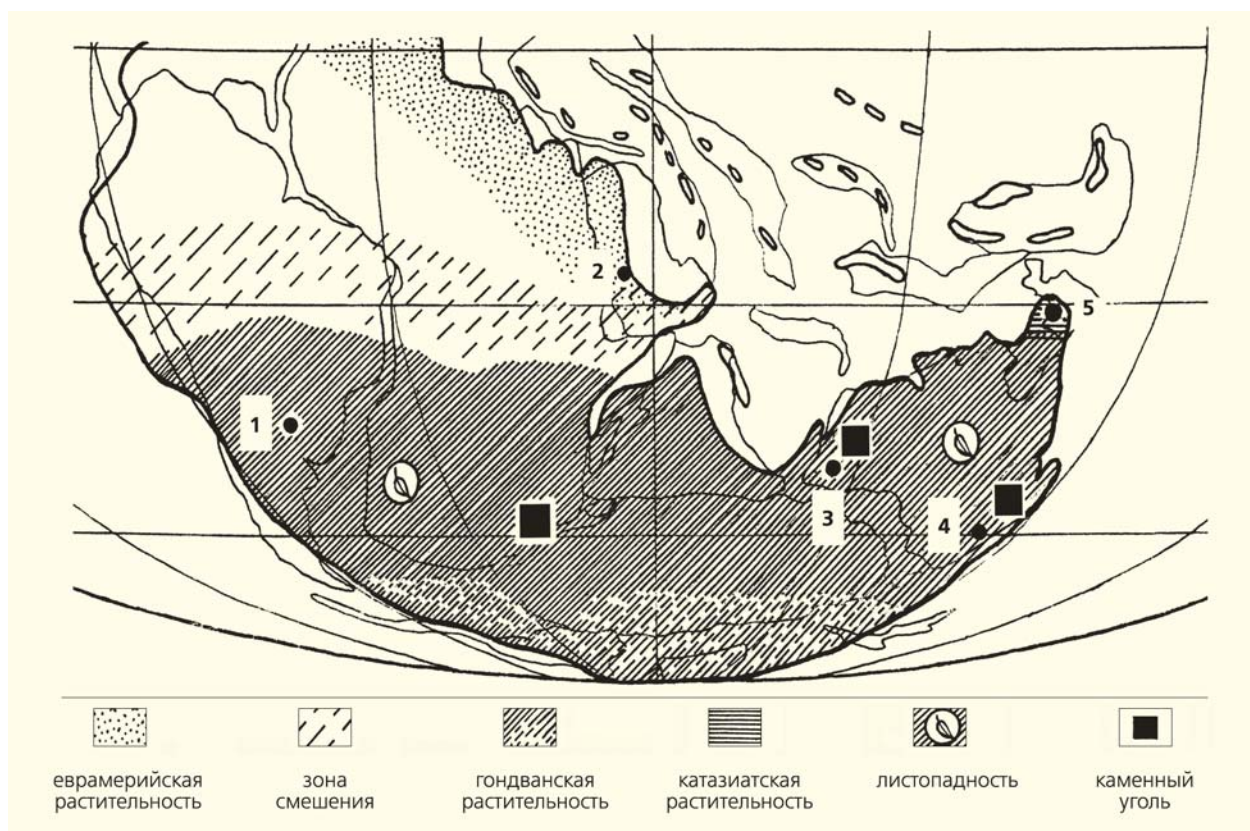
Изображение листьев глоссоптериса, опубликованное Адольфом Броньяром в 1838 г.

нейшей формы и строения. Здесь и фертиллигеры — семенные органы, сидящие на практически неизменных листьях, и странные многократно ветвящиеся оси с семенами рода уткалия, и попарно посаженные на ось листьев семенные щитки лиджеттоний, капсулы пламстедиостробуса, шишки кендостробуса, чешуевидные органы банхалеи, «лодочки» австрогlossы, трехмерно ветвящиеся арберии и уплощенные дланевидно рассеченные ригбии на длинных ножках... Простое перечисление названий видов и родов, предложенных для различных типов предполагаемых репродуктивных органов глоссоптерид, заняло бы хороший десяток страниц, а то и не один.

Работа с литературой заставила меня усомниться в том, что глоссоптериды, при их удивительно однообразном плане строения листьев, могли иметь такой широкий спектр репродуктивных органов, которые этим растениям приписываются. Да, значительная часть этих органов была найдена в прикреплении к побегам с листьями или даже непосредственно к листьям (это одна из важных морфологических особенностей глоссоптерид). К этим находкам никаких вопросов в отношении правомерности отнесения их к глоссоптеридам нет. Однако многие репродуктивные органы связывались с листьями глоссоптерис только на основе ассоциативной связи.

Самый верный способ избавиться от сомнений в такой ситуации — это своими глазами взглянуть на типовые образцы, сравнить их с изображениями в палеоботанических работах и постараться составить свое собственное мнение о строении и морфологических особенностях того или иного органа данного растения.

Возможность воочию взглянуть на репродуктивные органы глоссоптерид представилась мне поздней осенью 2011 года.



Карта Гондваны во второй половине пермского периода. Показано распространение разных типов растительности: еврамерийских элементов, зоны смешения еврамерийской и гондванской, гондванской (нотальной) с преобладанием глоссоптерид (в том числе листопадные растения), катазиатских элементов и месторождений каменного угля. Обозначены наиболее значимые местонахождения листьев рода *Glossopteris*: 1 — Чубут, Южная Америка, 2 — Унайзах, Аравийский полуостров, 3 — Перт, Австралия, 4 — Сидней, Австралия, 5 — Ириан Жайя, Новая Гвинея. На Аравийском полуострове и в Новой Гвинее листья глоссоптериса встречаются в смешанных комплексах, включающих остатки растений и соседних палеофлористических областей. Расположение континентов дано по А.Зиглеру (Ziegler et al., 1998).

Путешествие в сердце Гондваны

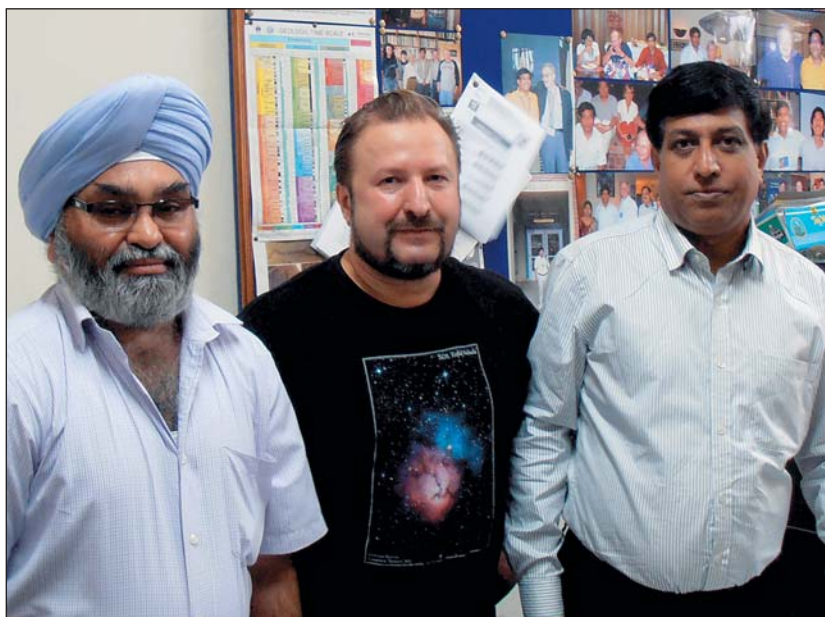
Мы, вместе с Владимиром Николаевичем Сергеевым, доктором наук и признанным специалистом по геологии и палеонтологии докембрия, известным читателям «Природы» по статье «Первые три миллиарда лет жизни...» [4], отправились в индийский Палеоботанический институт им.Бирбала Сани, расположенный в г.Лакнау, в северной части Индии, недалеко от подножия Гималаев. Этот институт был и остается центром притяжения всех палеоботаников-палеозойщиков, интересующихся гондванской флорой. Подробнее об институте и хранящихся в его фондах коллекциях можно про-

читать в замечательных книгах выдающегося российского палеоботаника С.В.Мейена [5, 6].

Непосредственной целью моей поездки в Индию было изучение перехода растительных сообществ через пограничный рубеж, разделяющий пермский и триасовый периоды, а в более крупном масштабе — палеозойскую и мезозойскую эры. Этот рубеж ознаменовался массовым вымиранием многих групп высших растений, о чем «Природа» писала неоднократно; см., например, подборку материалов «Палеобиота на рубеже двух эр» [7, 8]. В Палеоботаническом институте есть музей с весьма представительными коллекциями ископаемых растений, собранными не только

в Индии, но и во всех частях света. Институт издает журнал «Palaeobotanist», одно из немногих специализированных международных периодических изданий, посвященных древним растениям. Членом редколлегии этого журнала стал и я.

Индия, почти как во времена «Тысячи и одной ночи», поражает европейца своей экзотической природой, тропическими ландшафтами и древними традициями, сохранившимися в укладе повседневной жизни индийцев. На улицах Лакнау можно увидеть факира с коброй в плетеной корзиночке или купить статуэтку с танцующим многоруким Шивой. Плюмерии с длинными и широкими языковидными листьями с глянцевой,



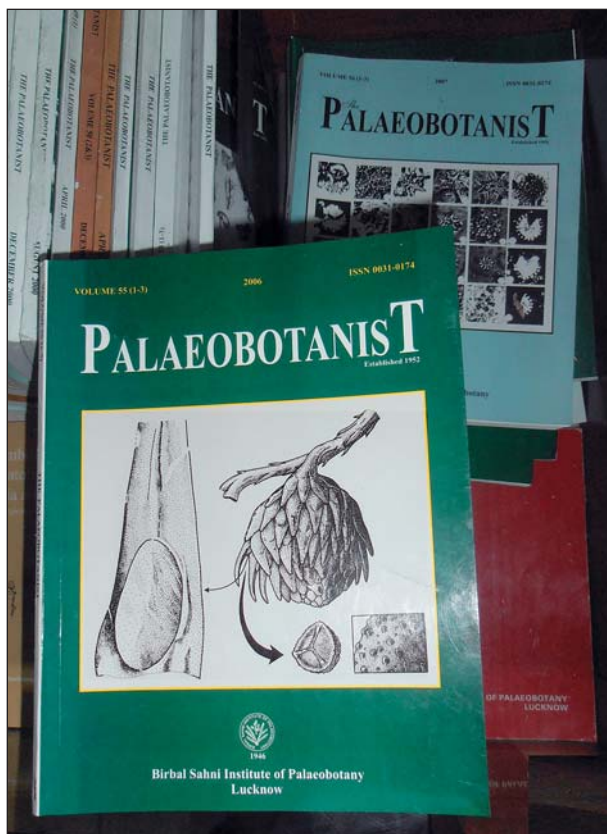
Участники российско-индийского проекта 2011 г. в Палеоботаническом институте им. Бирбала Сани, г. Лакнау. Слева направо: Камал Джит Сингх, С.В. Наугольных, Мукунд Шарма.

будто отполированной поверхностью, растущие на городских улицах среди пальм и фикусов, живо вызывают в воображении палеоботаника образы растительных чудес, существовавших здесь многие десятки и сотни миллионов лет назад.

Но главная и изысканная экзотика, встречу с которой я с нетерпением ожидал, находилась в фондовых музейных коллекциях Палеоботанического института.

А теперь — о глоссоптерисе всерьез

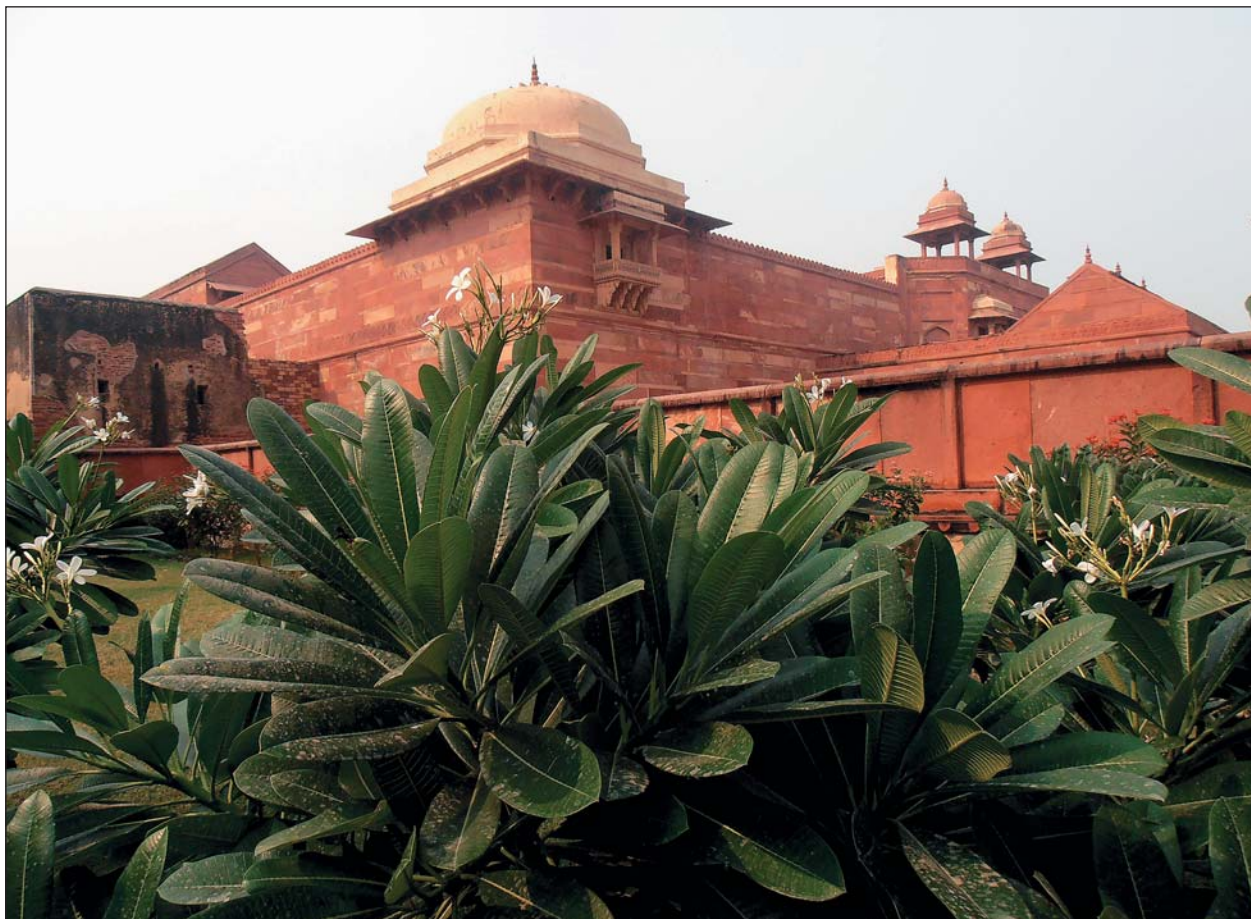
Род *Glossopteris* был установлен в 1828 г. выдающимся французским ученым, отцом палеоботаники как науки, Адольфом Броньяром. К роду были отнесены ланцетовидные листья с сетча-



Международный палеоботанический журнал «Palaeobotanist», издающийся в Лакнау. На обложку одного из номеров попал наш российский москвостробус — стробил плауновидного из нижнекаменноугольных отложений Подмосковья.



В современной Индии, живущей вполне в ритме новейших цифровых технологий, отдают дань национальным традициям. На снимке — танцующий Шива, помогающий индийцам мудрыми фольклорными императивами.



Современная плюмерия, удивительно напоминающая своими листьями глоссоптерид, в форте Агры, Индия.

тым жилкованием, часто встречающиеся в верхнепалеозойских (преимущественно, пермских) отложениях Гондваны и подчас образующих массовые скопления. По мнению многих исследователей, именно листья глоссоптериса послужили материнским веществом угольных месторождений Южного полушария. С самого начала и долгое время позже глоссоптерис относили к папоротникам.

Впервые репродуктивный орган, принадлежавший глоссоптеридам, был описан О.Фейстмантелем под названием *Dictyopteridium sporiferum* [9]. Диктиоптеридиум, обнаруженный в пермских отложениях Индии, представлял собой ланцетовидный фолиарный* орган, к одной из

* Фолиарный — имеющий листовую природу, уплощенный, листопоподобный.

сторон которого при жизни растения прикреплялись семена. Таким образом, выяснилось, что глоссоптериды — совсем не папоротники, а голосеменные.

Позднее, в 1902 г., также из пермских отложений Индии, французским палеоботаником Р.Зейллером был описан семенной орган *Ottokaria bengalensis*, тоже без сомнения принадлежавший глоссоптеридам.

Интенсивное изучение репродуктивных органов глоссоптерид началось с появления серии интересных и хорошо иллюстрированных работ Э.Пламстэд [10, 11]. Пламстэд сделала вывод о двуполости некоторых из фруктификаций** глоссопте-

** Фруктификации — общий термин, применяющийся ко всем органам размножения высших растений, безотносительно их пола.

рид, считая, что они имели форму двустворчатых капсул, однако дальнейшие наблюдения заставили большинство палеоботаников отказаться от этой интерпретации [12].

Пламстэд описала несколько типов фруктификаций глоссоптерид, отнесенных ею к разным родам. То, что описанные Пламстэд структуры были репродуктивными органами, не вызвало никаких сомнений. Однако интерпретации каждого конкретного остатка оказались весьма сложными, неоднозначными, и породили острую дискуссию. Мнения всех ведущих специалистов по систематике палеозойских голосеменных были опубликованы вместе с первоописанием фруктификаций глоссоптерид на страницах «Transactions of the Geological Society of South Africa». О несомненно важном

значении сделанного Пламстэд открытия высказались Х.Томас, В.Н.Эдвардс, Т.М.Харрис, Дж.Уолтон, Р.Н.Лаханпал, С.Мэмэй, Р.Кройзель, В.Йонгманс, а самой Пламстэд была предоставлена возможность ответить на развернувшуюся полемику и некоторые критические замечания в том же номере журнала [10].

Основные вопросы, касающиеся морфологической интерпретации как генеративных, так и вегетативных органов глоссоптерид и определения таксономического статуса этой группы растений, связаны, во-первых, с установлением моноили полифилетичности глоссоптерид, а во вторых — выявлением основных черт архетипа голосеменных, относящихся к глоссоптеридам, при условии их монофилетического происхождения.

Кроме этих проблем, существует довольно много более частных вопросов, касающихся установления пола некоторых из репродуктивных органов, вероятно, принадлежавших глоссоптеридам, уточнения ориентировки самих репродуктивных органов (например, адаксиальной или абаксиальной* ориентировки фертильной части женских фертиллигеров**) и т.д.

С проблемой моно- или полифилетического происхождения глоссоптерид напрямую связано выяснение степени типологической общности репродуктивных органов (как мужских, так и женских), возможно, принадлежавших этой группе растений.

В настоящее время с листьями *Glossopteris* прямо или на основе косвенных наблюдений связываются около тридцати разных типов органов размно-

жения, относящихся к разным родам. Поскольку органы размножения глоссоптерид очень сильно различаются, они были разделены на несколько семейств. Эти сведения с различными вариациями повторяются практически во всех современных учебниках палеоботаники.

Вот с таким багажом научных проблем я и оказался в музейных фондах.

Что обнаружилось?

Первый сделанный мной вывод, ставший неожиданностью, состоял в том, что, без сомнения, разные формы сохранности одних и тех же репродуктивных органов гондванских глоссоптерид были описаны под разными видовыми и родовыми названиями. Действительно, если орган деформировался в одной плоскости, на нем хорошо читались морфологические элементы, попавшие на плоскость сжатия, а если тот же орган деформировался сбоку, то эти элементы скрадывались, а подчеркивались, наоборот, другие. Без детального и глубокого морфологического анализа большой выборки остатков разных форм сохранности палеоботаникам, описывавшим эти органы, разобратся в тонкостях строения было очень трудно. Видимо, отчасти по этой причине таксономическое разнообразие репродуктивных органов глоссоптерид в настоящее время несколько завышено. Прекрасной иллюстрацией этой мысли может служить недавно опубликованная статья Р.Превека с соавторами [13], в которой на основании детального изучения фруктификаций глоссоптерид из Южной Африки описан новый род *Bifariata*. Разные формы сохранности этих фруктификаций в той или иной степени соответствуют, по меньшей мере, трем ранее установленным родам — *Scutum*, *Hirsutum* и *Ottokaria*.

Второй вывод был связан с тем, что в одной и той же кол-

лекции растительных остатков, собранной из одного слоя и явно характеризующей одно и то же исходное растительное сообщество, репродуктивные органы глоссоптерид, несмотря на присутствие синонимичных родов, все же так очень существенно различались и явно принадлежали двум-трем разным морфологическим архетипам, несмотря на то, что материнские растения и тех, и других обладали листьями одного и того же типа «глоссоптерис».

Биологическая подоплека этого явления, на мой взгляд, могла быть обусловлена следующим.

Глоссоптериды, произраставшие в одних и тех же растительных сообществах, возможно, существенно различались своей репродуктивной стратегией, несмотря на очевидную таксономическую близость.

В качестве примера можно взять широко известное среди специалистов индийское местонахождение листьев глоссоптерис, вместе с которыми встречаются различные фруктификации. Это местонахождение называется Кандаппа, расположено оно в индийском штате Орисса. Знаменито оно, помимо интересных, а подчас и уникальных палеоботанических находок, красивым золотистым оттенком листьев глоссоптерид, который растительные остатки приобретают вследствие вторичной минерализации.

В Кандаппе (как, впрочем, и во многих других местонахождениях ископаемых остатков глоссоптерид) встречаются женские фруктификации глоссоптерид двух базовых типов. Оба типа представляют собой фертиллигеры. Фертиллигеры первого типа относительно крупные; обычно их относят к роду *Scutum*. Они несут большое количество (несколько десятков) мелких, округлых, лишенных окрыления семян. Фертиллигеры второго типа, наоборот, относительно небольшие. Фруктификации этого типа из Кандаппы от-

* Абаксиальная сторона — сторона листа или любого другого органа, обращенная от несущей его оси, адаксиальная сторона — сторона листа или любого другого органа, обращенная к несущей его оси.

** Фертиллигеры — органы размножения, прикрепляющиеся к осевой части практически неизменных листьев.

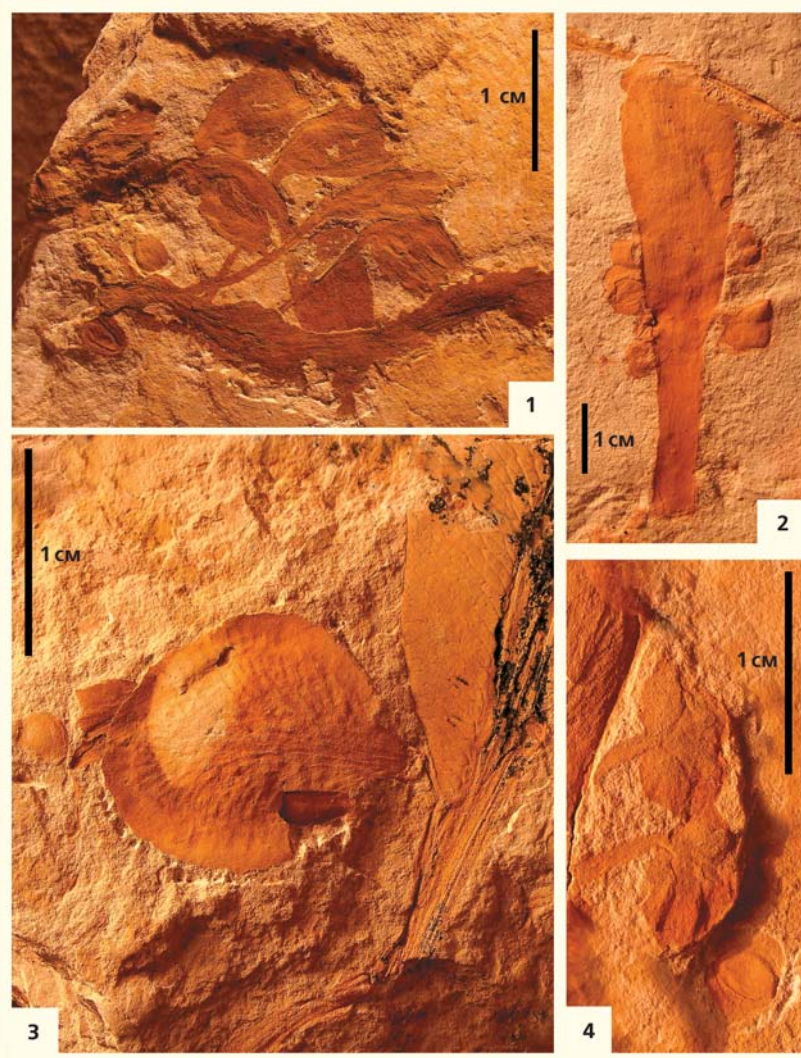
носят к родам *Partha* и *Denkania*, отличия между которыми, возможно, связаны с индивидуальным возрастом органа, попавшего в захоронение, и типом его сохранности. Отдельный семенной орган этого типа продуцировал от одного до десяти семян, но более крупных размеров и с хорошо развитой крылаткой.

Можно предположить, что условия существования в одних и тех же сообществах с низким видовым разнообразием, но плотно заселенных, вынудили глоссоптерид использовать две разных репродуктивных стратегии. Растения с женскими репродуктивными органами типа скутума (*Scutum*) и целого ряда других близких родов (*Bifariata*, *Cistella*, *Estcourthia*, *Hirsutum*, *Jambadostrobos*, *Lanceolatus*, *Ottokaria*, *Pluma*, *Plumsteadia*, *Plumsteadiostrobos*, *Venustostrobos*), образовавшие большое количество мелких бескрылых семян, были барохорами*. Их семена, отпадая от семенного органа, падали под действием силы тяжести недалеко от материнского растения. В условиях плотной заселенности шанс выжить — прорасти — у этих семян был небольшим, поэтому растение компенсировало его большим количеством продуцируемых семян.

Растения с женскими репродуктивными органами типа парта (*Partha*) и других близких родов (*Denkania*, *Lidgettonia*, *Rusangea*) продуцировали небольшое количество относительно крупных семян, снабженных хорошо развитой крылаткой. Эти растения были анемохорами**. Их семена разносились ветром на большие расстояния, далеко от материнского растения, по-

* Барохория — самопроизвольное осыпание зрелых семян или спор под действием силы тяжести, свойственна видам с высокой плодovitостью и длительной жизнеспособностью семян.

** Анемохория — разнос семян или спор воздушными течениями: распространение парящих и планирующих форм и перенос ветром по поверхности почвы, воды или снежного наста опавших.



Женские репродуктивные органы глоссоптерид из пермского местонахождения Кандаппа, штат Орисса, Индия: 1 — *Denkania indica*, латерально деформированный семенной орган; 2 — *Partha spathulata*, полностью сохранившийся фертиллигер. 3 — *Scutum sahnii*, к нижней (фертильной) поверхности этого семенного органа прикреплялись многочисленные округлые семена, лишённые крылатки. 4 — *Partha spathulata*, справа внизу видно семя с хорошо развитым окрылением.

этому шанс выжить вне перенаселенного исходного сообщества у этих семян был гораздо выше. Прямое следствие этого — меньшее количество семян, формировавшихся фертиллигерами второго типа. Видимо, сходное разделение репродуктивной стратегии за счет смещения акцентов в диссеминации (т.е. в типе распространения семян) было свойственно глоссоптеридам на всем пространстве Гондваны. Сам этот про-

цесс хорошо вписывается в концепцию супраидиадаптивных преобразований, предложенную автором [14].

Палеоэкология глоссоптерид и палеопочвы

В каких условиях существовала гондванская растительность и какое место занимали в ней глоссоптериды? Для ответа на эти вопросы надо вернуться

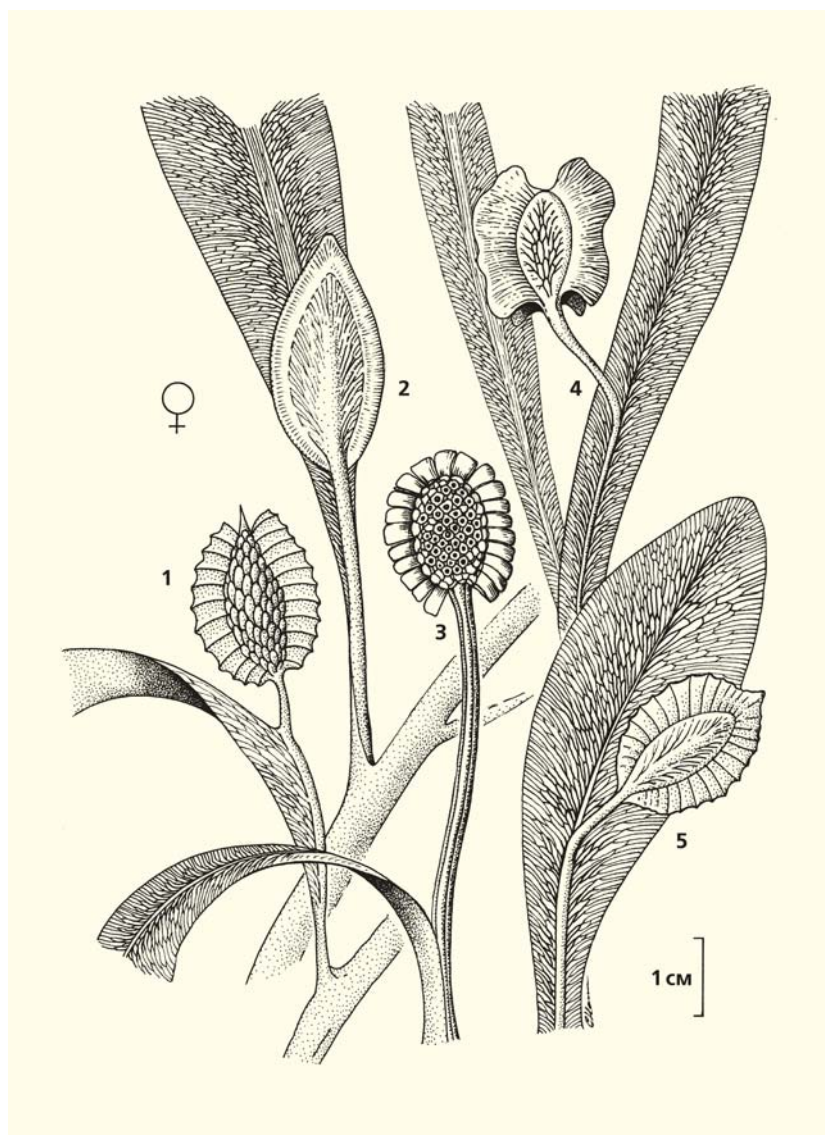
к антарктическим находкам вертебрарий — корней глоссоптерид, которые сохранились *in situ* в гидроморфных палеопочвах, образовавшихся в прибрежной части обширного, скорее всего, пресноводного бассейна.

Подробно вся логика рассуждений, связанных с реконструкцией ландшафтных условий произрастания глоссоптерид, изложена в специальной статье, опубликованной в большом сборнике, посвященном научным результатам российских геолого-геофизических исследований Антарктиды [15]. Основной же вывод, к которому мы пришли, таков, что совместное нахождение вертебрарий вместе с многочисленными и неплохо сохранившимися побегами хвощевидных, явно произраставших в хорошо увлажненных экотопах, указывает на то, что и глоссоптериды могли селиться непосредственно в прибрежной части, скорее всего, на периодически подтопляемых косах или барах. Остатки вертебрарий в разрезах у озера Бивер обычно приурочены к песчаным прослоям. Это наблюдение хорошо согласуется с представлениями о глоссоптериде как о главных углеобразователях в пермском периоде в Южном полушарии. Отсюда и связь инситных вертебрарий с гидроморфными палеопочвами.

Подведем итоги

В заключение обратимся к глоссоптеридам как группе растений. В какой степени ее можно считать естественным таксоном, а не сборной группой и какие же репродуктивные органы ее предшественникам были свойственны?

Из всего разнообразия фруктификаций, когда-либо относившихся к глоссоптеридам, можно вычленить несколько отчетливых типов, обладающих общим планом строения, однозначно свидетельствующим о едином предке и монофилетичности глоссоптерид как группы. Мор-



Женские репродуктивные органы глоссоптерид: 1 — *Scutum*, показаны мелкие округлые семена, сидящие на фертильной стороне семеносного органа; 2 — *Hirsutum*, репродуктивный орган обращен фертильной стороной к бракее; 3 — *Ottokaria* (род, очень близкий к родам *Scutum* и *Venustostrobis*); на реконструкции показаны круглые рубцы от опавших семян; 4, 5 — *Scutum*, репродуктивные органы, различающиеся степенью васкуляризации крыла окружающего фертильную часть. Авторские реконструкции по образцам, изображенным Э.Пламстэд [10, 11].

фологический архетип глоссоптерид (класс *Glossopteridopsida*) складывается из сочетания древесин с анатомическим типом *Araucarioxylon*, листьев, относящихся в изолированном состоянии к родам *Glossopteris*, *Gangamopteris*, *Palaeovittaria* и близким типам, корневым системам *Vertebraria*, и репродуктивных органов, представляющих собой

фертиллигеры. Термин *фертиллигер* принимается как для женских, так и для мужских репродуктивных органов в соответствии с трактовкой, предложенной Д.Пантом [12]. Мужские фертиллигеры несли компактные гроздевидные собрания спорангиев, продуцировавших двумешковую стриадную пыльцу. Женские фруктификации глоссоптерид —



Мужские репродуктивные органы глоссоптерид: 1, 3 — *Eretmonia*, 2 — *Glossotrocha* (по разным авторам, с изменениями).

это уплощенные листоподобные органы округлых, линейно-ланцетных, ланцетовидных или округлых очертаний, часто с хорошо развитой васкуляризацией*, с отчетливыми анастомозами, расположенными между соседними жилками. К одной из сторон семеносного органа (предположительно, абаксиальной) прикреплялись многочисленные семена, обычно мелкие, бескрылые или более крупные и снаб-

* Васкуляризация — расположение проводящих элементов в побегах, листьях и других органах высших растений.

женные крылом. Своеобразие морфологического архетипа глоссоптерид однозначно оправдывает отнесение их к самостоятельному классу голосеменных растений. Поскольку женские репродуктивные органы глоссоптерид обладают существенной листоподобностью и во многих случаях демонстрируют тот же тип жилкования, что и нормальные листья, можно предположить, что прямыми предками глоссоптерид были примитивные позднедевонские или раннекаменноугольные птеридоспермы с немодифициро-

ванными фертильными (семеносными) вайями.

Другие репродуктивные органы (женские фруктификации *Arberia*, *Derbyella*, *Dolianitia*, мужские фруктификации *Nesowalesia*, органы размножения неопределенного пола *Utkalia*) невозможно привести в соответствие с классическим морфологическим архетипом строения репродуктивных органов глоссоптерид. Известны эти роды по отдельным находкам изолированных органов. Скорее всего, они принадлежали другим группам высших растений, которых было вполне достаточно в растительности Гондваны, но, в отличие от глоссоптерид, они не были безусловными доминантами. Роды *Arberia* и *Dolianitia*, по моему убеждению, представляют собой фоллиарные трехмерно-ветвящиеся (*Arberia*) и уплощенные (*Dolianitia*) семеносные системы, принадлежавшие «предгинкгофитам»**, особому порядку голосеменных, анцестральному по отношению к настоящим гинкговым (*Ginkgoales*). Древнейшие гинкгофиты с фоллиарными семеносными органами были широко распространены в пермское время в Приуралье, но очень близкие формы известны в карбоне и перми как Евразии, так и Гондваны.

Глоссоптериды были безусловными доминантами в растительности Гондваны, однако «эмигранты» этой группы проникали довольно далеко на север, где они встраивались в качестве аксессуарных элементов в фитоценозы других биомов.

Растительность, покрывавшая обширные просторы Гондваны в конце палеозойской эры, разительным образом отличалась от располагавшейся севернее теплолюбивой евразийской растительности экватори-

** Предгинкгофиты — группа позднепалеозойских голосеменных с уплощенными листоподобными семеносными органами, от которой, предположительно, произошел порядок гинкговых.



Растительность Гондваны. В подлеске зарослей глоссоптерид (с характерными языковидными листьями с сетчатым жилкованием) видны хвощевидные ранигании, предпочитающие хорошо увлажненные экотопы.

ального пояса. Попав в гондванский лес, мы в первую очередь увидели бы наших знакомых — глоссоптерид, представленных древовидными и кустарниковыми растениями с длинными и широкими ланцетовидными листьями с характерным сетчатым жилкованием. В подлеске нам встретились бы немногочисленные папоротники, а по берегам мелководных озер — хвоцевидные родов филлотека и ранигания. Сколько еще загадок хранит этот удивительный лес, проникнуть в который нам помогло путешествие в сердце Гондваны...■

Исследования поддержаны РФФИ, грант № 11-05-92692-ИНД_а

Литература

1. Ziegler A.M., Gibbs M.T., Hulver M.L. A mini-atlas of oceanic water masses in the Permian period // Proceedings of the Royal Society of Victoria. Tematic issue / Strzelecki International Syposium on Permian of Eastern Tethys: Biostratigraphy, Palaeogeography and Resources. 1998. V.110. №1—2. P.323—343.
2. Pigg K.B., Nisbida H. The significance of silicified plant remains to the understanding of *Glossopteris*-bearing plants: an historical review // Jour. Torrey Botanical Society. 2006. V.133. №1. P.46—61.
3. Nisbida H., Pigg K.B., Kudo K., Rigby J.F. Zooidogamy in the Late Permian genus *Glossopteris* // Jour. Plant Research. 2004. V.117. P.323—328.
4. Сергеев В.Н., Нолл Э.Х., Заварзин Г.А. Первые три миллиарда лет жизни: от прокариот к эвкариотам // Природа. 1996. №6. С.54—67.
5. Мейен С.В. Из истории растительных династий. М., 1971.
6. Мейен С.В. Следы трав индейских. М., 1981.
7. Сенников А.Г., Голубев В.К. Вязниковская фауна: черты экологического кризиса // Природа. 2006. №7. С.39—48.
8. Наугольных С.В. Флора в преддверии пермо-триасового кризиса // Природа. 2006. №7. С.49—58.
9. Feistmantel O. The fossil flora of the Gondwana system (Lower Gondwana). 2. The flora of the Damuda and Panchet Divisions // Geol. Surv. India. Mem., Palaeontol. Indica (Calcutta). 1880. V.XII. Iss.III. №1. P.1—77.
10. Plumstead E.P. Description of two new genera and six new species of fructifications borne on *Glossopteris* leaves // Trans. Geol. Soc. South Africa. 1952. V.LV. P.281—328.
11. Plumstead E.P. Further fructifications of the *Glossopteridae* and a provisional classification based on them. The habit of growth of *Glossopteridae* // Trans. Geol. Soc. South Africa. 1958. V.LXI. P.51—94.
12. Pant D.D. Reproductive biology of the *Glossopterids* and their affinities // Bull. Soc. bot. France. 1987. V.134. №2. P.77—93.
13. Prevec R., McLoughlin S., Bamford M.K. Novel double wing morphology revealed in a South African ovuliferous *glossopterid* fructification: *Bifariaia intermittens* (Plumstead, 1958) comb. nov. // Review of Palaeobotany and Palynology. 2008. V.150. P.22—36.
14. Наугольных С.В. Как одна экологическая ниша два рода прокормила // Природа. 2012. №4. С.31—38.
15. Наугольных С.В., Лунев П.И. Палеоэкологические условия произрастания гигро- и гидрофильных палеофитоценозов Гондваны (на примере пермской флоры северной части гор Принс-Чарльз, Восточная Антарктида) // Научные результаты российских геолого-геофизических исследований в Антарктике. Вып.2. СПб., 2009. С.26—41.

Паляваам

Д.И.Берман,
доктор биологических наук
Институт биологических проблем Севера ДВО РАН
Магадан



Долина чукотской реки Паляваам, впадающей с востока в Чаунскую губу, до недавнего времени была нехожена, кроме как оленеводами, да геологами-поисковиками. В одном месте долины в 1970-х годах разрабатывались золотые россыпи. Здесь же реку пересекает (раньше вброд, теперь по мосту) дорога от Певека на Билибино, рядом с которым атомная электростанция и золотые прииски). Правда, дорога — чукотская, исключительно для «Уралов», в автомобильном сословии почитающихся вездеходами.

Дорога на Билибино уходила круто на запад, а на востоке, вверх по долине Паляваама, на 30-40-километровом отрезке правого берега, в 70—80-х годах прошлого столетия сотрудники Ботанического института Академии Наук СССР (БИН) выявили максимально богатую во всей континентальной Чукотке флору — 390 видов! Здесь же с позднего плейстоцена (т.е. уже 10—12 тыс. лет) сохранились степ-

© Берман Д.И., 2012



Долина р.Паляваам. Центральная Чукотка. Середина июня 2011 г.

Фото В.В.Похилюка и Д.И.Бермана

ные виды растений. Далее на восток мало кто из них прошел по пространствам Чукотки. Препятствием служил горный узел, образованный группой высоких по чукотским меркам хребтов. Всего-то около 1000 м над уровнем моря, но снег на них сходит в конце июня, а то и позже, а ложится во второй половине августа — одним словом, Чукотка.

О выдающемся значении гор по правобережью среднего течения Паляваама для понимания истории региона можно судить всего лишь по одной находке: здесь обнаружено растение из семейства крестоцветных — хединия чукотская (*Hedinia czukotica*), ближайшие родственники которой поныне живут в Центральной Азии.

Раз так разнообразна флора, может, и фауна степных насекомых, тоже реликтовых, столь же богата по сравнению с западными территориями? В этом наш интерес и цель экспедиции.

Кому и зачем нужны реликты?

Чукотка, как известно, когда-то была частью единой территории — Берингии. Эта древняя географическая страна в отличие от Атлантиды и Арктиды не миф, а реальность, хотя и не лишенная мифических черт. Напомню, 120—140 веков назад уровень Мирового океана был ниже современного на 90 м. Мелководный Берингов пролив обсыхал, соединяя Азию и Америку «мостом». Обнажившийся шельф на многие сотни километров нарастил материка, особенно по северу и востоку Сибири, и вместе с Чукоткой и Аляской образовал гигантскую страну — Берингию. Здесь в изобилии водились мамонты, бизоны, дикие лошади, северные олени, сайгаки, суслики, лемминги... Ландшафты со столь необычным сочетанием видов были названы тундро-степями.

В плейстоценовых отложениях обнаружена и масса сме-



На этом невзрачном южном склоне с остепненной растительностью сохранились с плейстоцена реликтовые виды растений и насекомых.

Фото Д.И.Бермана

шанных остатков хитина степных и тундровых жуков. Странное сочетание, но не случайное: смесь остатков представителей флоры и фауны разных зон выявлена во множестве ископаемых проб, отобранных на огромном пространстве — от низовьев Лены до р.Анадырь, а в Америке — от Берингова пролива до р.Макензи.

Реконструировать несуществующие ныне ландшафты невероятно сложно, нет тому примеров в современном мире. Геологи, мерзлотоведы, климатологи, палеонтологи и другие специалисты поэтому нередко расходятся во мнениях, когда речь заходит о характеристике хотя бы основных черт тундростепных ландшафтов Берингии.

Казалось бы, нет ничего проще, чем воссоздать ландшафты Берингии, «опираясь» на мамонта — наиболее известное животное былых эпох. Однако на самом деле знаем мы о нем досадно мало. И не о деталях речь, а о самом главном. Например, ка-

кой образ жизни он вел: оседлый, как современный овцебык, или кочевой, как северный олень, уходящий летом в тундру, а зимой — на юг, в лесотундру? Или чем питался: ветками деревьев и кустарников, как современные слоны, или — травой, лишайниками, которые мамонт якобы сгребал закруглениями бивней? Как добывал воду зимой, или вовсе не пил, а прихватывал снег, как арктические животные? И, наконец, что же его окружало: тундры, арктические прерии или тундростепи? Не так много и знаем, а ведь последние мамонты жили на о. Врангеля чуть более 30 веков назад, т.е. когда египтяне уже умели писать.

В отличие от пыльцы растений и костей ископаемых животных, мало страдающих при перемещении водой, хитин насекомых уязвим — он легко крошится или истирается песком и галькой. А потому находка хитина насекомого означает, что этот вид жил в месте и во время формирования отложений.

Существует много видов насекомых, весьма капризных в отношении условий существования, что делает их ценнейшими индикаторами, своеобразными термо-, гигро- и прочими датчиками. Фрагменты хитина насекомых в отличие от пыльцы и спор растений определяются до вида, а значит, заключение энтомологов — самой высокой надежности. Что такое степные жуки? Это насекомые, живущие в зональных или горных степях. Есть останки такого жука — значит, здесь была степь.

Еще большей информативностью обладают «живые» ископаемые — сохранившиеся на крошечных кусочках сухих южных склонов Чукотки (как и Магаданской области, и Якутии) популяции степных видов растений и насекомых. Так, в верховьях Индигирки мы нашли представителя американского рода полужесткокрылых насекомых, а в среднем течении Анадыря крошечного долгоносика, ближайший родственник которого имеет такой же ареал, что и одногорбый верблюд. Можно привести множество иных примеров, и каждый раз эти виды — свидетельства былых географических связей фауны Чукотки.

Памятник природы

Уже упомянутые мудрые люди во главе с проф. Б.А.Юрцевым из БИНа, понимая всю ценность разнообразия флоры на правобережье среднего течения Паляваама, еще в 1983 г. добились учреждения здесь Памятника природы. Такой статус получают относительно небольшие, но в каждом случае по-своему уникальные территории, заслуживающее охраны от какой бы то ни было хозяйственной деятельности. Там полагается ставить разъясняющие и запрещающие транспаранты, но у тех, кто должен делать это (как правило, районных властей) помимо безденежья всегда в запасе

еще одно оправдание — «без шума, не целее ли будет?». Поэтому «наглядной агитации» нет, и окрестное население часто не знает о существовании подобных Памятников в округе. А надо бы знать, чтоб не только ненароком не повредить, но и гордиться ими.

Часто Памятники учреждаются в совершенно безлюдных местах впрямь, на случай интенсивного освоения. Вот уже несколько лет, как через Паляваам чуть выше бывшего брода построен мост — гордость не местного масштаба. И дорога, пусть и чукотского качества, сразу за мостом уходит на восток, соединяя Билибино аж с пос. Эгвекинот, расположенном на берегу залива Креста (Берингово море).

Дорога идет от моста вверх по Палявааму, потом — по одному из притоков, переваливает в бассейн верховьев р. Большой Осиновой, минует верховья р. Амгуэмы (чтоб не форсировать ее) и направляется в сторону залива Креста... По дороге ходят караваны машин (в одиночку не рискуют брать броды через притоки), не часто, но ходят, доставляя грузы из Эгвекинота в Певек, что, конечно, дешевле, чем кораблем через Берингов пролив по Чукотскому и Восточно-сибирскому морям с их короткой навигацией и порой тяжелыми льдами. К тому же хоть какая-то конкуренция с моряками, что очень важно: в июне килограмм картошки в Певеке, завезенный морем, стоит под 200 рублей.

Одним словом, в июле проехать на машине по значительной части долины Паляваам — прогулка. Дорога после зимы и, главное, весеннего паводка подправлена бульдозерами и выглажена грейдерами. Но нам нужна весна, а это — середина июня со сходом снега, половодьем — самая распутица. Да сам Певек — не ближний свет, до него далеко даже от Магадана, по прямой почти 1.5 тыс. км. И до нужного нам места на Палявааме от Певека почти час на вертолете

(или полдня на «Урале»). Мы бы не попали в этот прекрасный край, если бы не корпорация «Kinross Gold» (Канадская золотодобывающая компания, работающая на территории России, президент У.Морли-Джеспсон), спонсировавшая нас в числе других работающих в этом регионе ученых. У корпорации в Певеке транспортное подразделение во главе с двумя Александрями — Казанцевым и Усовым (Александр I — начальник, Александр II — его сменный зам.). Нежданно увидеть на краю света администраторов такого класса.

По Палявааму

Дорога идет по ровной, прерываемой время от времени притоками, террасе левого берега Паляваама. Нам же нужен правый берег, и вертолет присаживается на сухом пятачке примерно в 50 км выше моста. Там мы накачиваем резиновые лодки и «перебежками» разной протяженности перемещаемся на них 20 дней от одного заинтересовавшего нас места к другому. Мы — это помимо автора этих строк В.В.Похилюк (человек за все — лагерь, безопасность, рыбалка, фотографии и т.д.).

По правому берегу следы «цивилизации» отсутствуют, как будто бы рядом нет этой самой «цивилизации». Человек здесь — и на Чукотке, и на Палявааме в частности — был издавна. Ведь чукчам, как народу, идентифицируемому по предметам материальной культуры, больше 6 тыс. лет! (Есть ли европейские племена такого возраста?). И свидетельства давнего пребывания чукчей на Палявааме вполне зримы. На вершине одного из увалов находится старое ритуально оформленное захоронение, по поэтичности и, если хотите, торжественности расположения перекликающееся с известной картиной И.Левитана «Над вечным покоем»... А вот никакого мусора нигде за 20 дней работы

на территории Памятника так и не видели. Ни одной консервной банки, ни обрывка полиэтилена! Нигде, кроме как у моста: тут, наоборот, нет ни единого неопоганенного клочка земли. Не хватило у строителей «пороха» еще и убрать за собой...

Сплав по полноводной в это время реке с редкими перекатами, со скоростью 1,5–2 м в секунду — удовольствие. Пороги затоплены паводком, «заломов» нет — леса не растут на всем протяжении реки. Ближайший — на р. Большая Осиновая, верховья которой пересекает дорога на Эгвекино. Самая северная роща на этой реке сплошь состоит из чозении (древовидная, стройная в молодости родственница ивы) при полном отсутствии в округе (на тысячи верст!) осины. Такова уж романтическая тяга топографов к «родным осинкам-березкам».

Чозения дальше всех древесных пород идет на север, чукчи ее использовали на дрова, но она вреда с того не имела, так как быстро восстанавливается. Дерево удивительное, растет от Китая и Японии до Чукотки; самое северное ее местонахождение — знаменитая Телекайская роща (в верховьях левого притока р. Амгуэма, т.е. чуть севернее Паляваама). Низких температур не боится, «проверена» пребыванием на полюсе холода Северного полушария — она растет в Верхоянске, Оймяконе и других лютых местах. Но только вдоль рек, так как несовместима с мерзлотой. В поймах же полноводных рек с галечниками (и только с ними!) паводки весной быстро размораживают грунты, что и дает возможность чозении с ее корнем «морковкой» безбедно существовать севернее полярного круга.

На Палявааме чозении быть не должно, но она нашлась, тоже на правобережье ниже впадения левого притока — р. Выквыльвэгыргын (упрощенный вариант на «неполиткорректных» картах — р. Угрюмая) на широченной пойменной террасе — одинокая купа из пяти одно-



возрастных стволов от одного корня, примерно в 6–7 м в высоту; да еще в полукилometре совсем молодое дерево в 3,5 м.

Мы начали работать 16 июня 2011 г., через пару дней вода упала и посветлела, стал ловиться хариус. От решения приготовить (по три штуки на человека) до скворчания рыбы на сковороде в любое время в любом месте проходило 30–40 минут. Хариус здесь везде, и как сказал один из старожилов, работающий на метеостанции «Глубокая» 28 лет, «рыбы пока нет (имеется ввиду арктический голец), один хариус».

Июнь этого года на редкость «голодный»: за все время видели лишь одиночных куропаток, считанных зайцев, одного (!) песца, пару оленей, да одного барана (правда, наталкивались на него каждый день, пока работали в этом месте — уж больно баран). Зато на любом сухом бугре, уступе коренной террасы поселения сусликов; июнь — время выхода на поверхность молодняка, и суслията доставили нам удовольствие наивной доверчивостью. Вопреки полному отсутствию каких-либо мелких грызунов, Паляваам оказался богат пернатыми хищниками:

Чукотский вариант картины И.Левитана «Над вечным покоем».

Фото В.В.Похилюка



Вести из экспедиции

зимняками, сапсанами и белоснежными кречетами. Эти великолепные птицы, в том числе и сокола, прекрасно живут, питаясь сусликами, не только на Чукотке, но и в других регионах, прежде всего — степных.

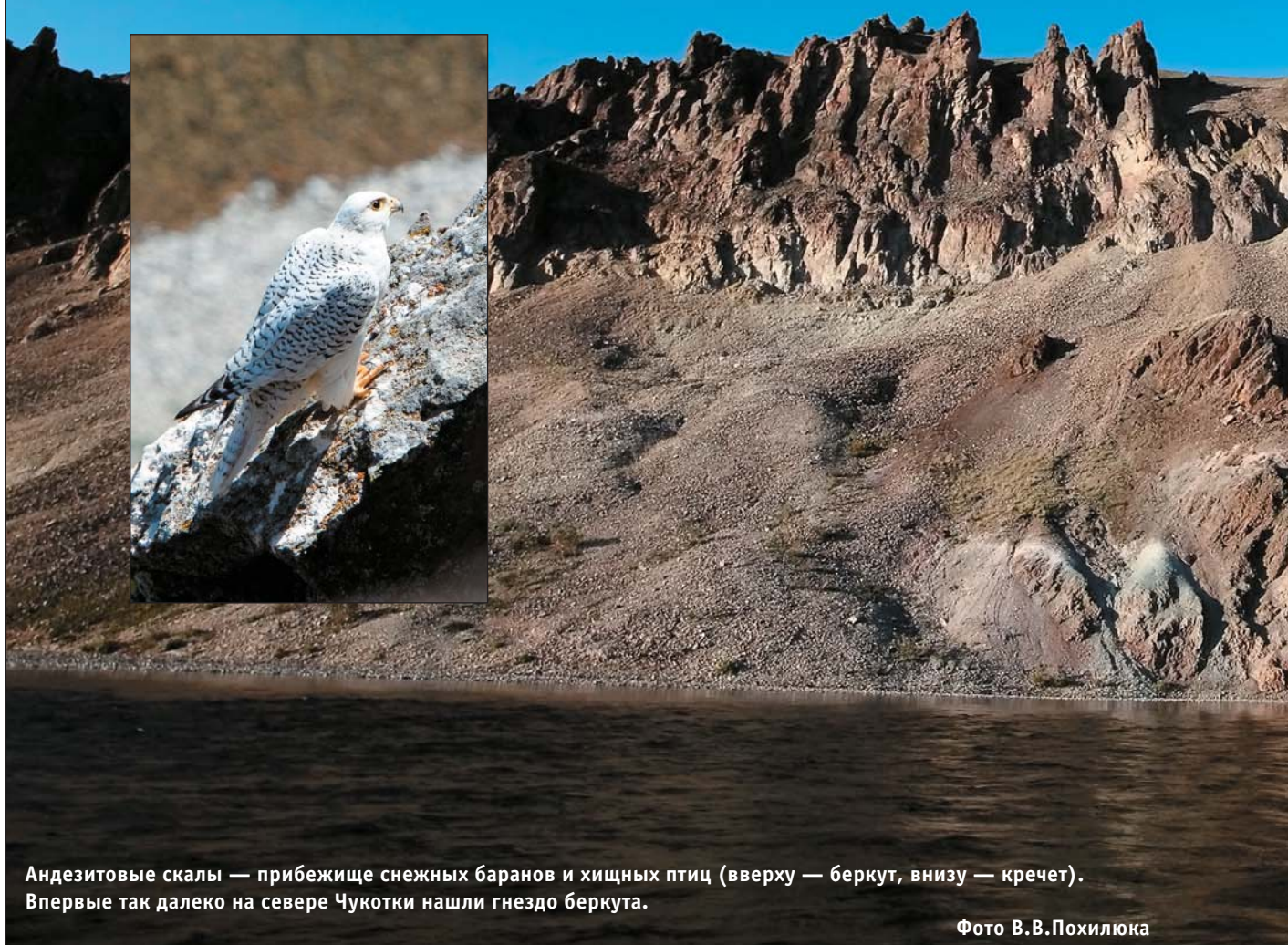
Суслик «кормит» не только пернатых хищников. Почти на каждом поселении встречаешь глубокие рытвины — следы медведей, пытавшихся добыть зверьков; судя по частоте разрытых поселений, промысел этот вполне успешен. Края рытвин нередко обрамлены пышным бордюром сочного разнотравья, отсутствующего в тундре. Здесь

аконит, кровохлебка, белый и желтый подмаренники, чемерица. Привязанность этих растений к поселениям сусликов связана с обогащенностью почв азотом, не «дают» их рост и тундровые растения. Азот вносят сами суслики, а тундровые растения буквально погребаются медведем. К тому же суслики эстетичны и не едят букетов.

Но в этом ионе медведей не было, и это хорошо, поскольку мы, как всегда, были без оружия, только при фальшфейерах.

С раннего же утра и позднего вечера, с небольшими перерывами, нас сопровождали голоса пе-

рекликающих канадских журавлей. Тут нет ни лягушек, ни углозуба, ни крупных моллюсков, в озерах нет рыбы, а в реке она мало доступна для журавлей. Не было здесь и леммингов, в их отсутствии эта замечательная птица довольствуется, вероятно, добычей, не очень-то под стать ей по размерам, но многочисленной — крупными жуками, прежде всего долгоносиками и жужелицами. Подобный «стол» имеет и изящный журавль-красавка в степной зоне, однако его рацион разнообразится ящерицами, мелкими грызунами, многочисленными саранчовыми и др.



Андезитовые скалы — прибежище снежных баранов и хищных птиц (вверху — беркут, внизу — кречет). Впервые так далеко на севере Чукотки нашли гнездо беркута.

Фото В.В.Похилюка



Жуки о ... плейстоцене

Для канадского журавля жуки-долгоносики — еда, для обывателя — просто крупные жуки, а для специалистов, в том числе и палеоэнтомологов, которых мы помянули в начале статьи и забыли на время, — весьма неожиданная встреча. Эгих долгоносиков, относящихся к степному по происхождению роду *Coniocleonus*, до посещения долины Паляваам изредка находили исключительно на тундростепных участках Чукотки и считали только их обитателями. В долине же Паляваама мы расставляли десятки земляных ловушек (пластиковые стаканы, утопленные вровень с землей) и на тундростепных участках, и среди сухих тундр на южных склонах, без какого либо

остепенения. И везде по сухим местам встречались эти жуки, из чего, несомненно, следует, что они — обычные обитатели сухих тундр, а не степные реликты. Точно так же с некоторыми другими ключевыми видами насекомых, известными и из других регионов Чукотки. Оставим их перечень и комментариев к нему для научного сообщения. Но об одном жуке нужно подробно рассказать. Это — зеленый морихус (*Morychbus viridis*).

В грунтах северных равнин (от Лены до Анадыря) среди хитина более 220 видов когда-то захороненных насекомых до 80% занимают останки этого жука. Он — металлически-зеленый, раза в полтора меньше обычной божьей коровки, но не круглой, а удлинненной формы.

Никакими особыми достоинствами в отношении сохранности хитин морихуса не обладает — ни толще, ни тверже, ни пластичнее. А потому приходится признать: обилие хитина морихуса в отложениях — свидетельство того, что прежде в этом месте его было много. Однако зеленый морихус известен и ныне по всему северо-востоку Азии, но только из горных бесснежных зимой степей, в которых фоновое растение — крошечная (не более 10 см) сухолюбивая осочка. Столь строгая специализация позволяла использовать морихуса в качестве уникального индикатора ландшафтов, в которых он жил много тысячелетий назад. Следуя этой логике, придется признать, что во время длительного периода формирования отложений, содержащих остатки морихуса, господствующие ландшафты были сухи, ветрены, бесснежны и, что важно, — ничтожно продуктивны.

Находки морихуса на Паляваама не только на тундростепных участках, но и в сухих тундрах расширяют его современную «зону обитания» и индикационные возможности. Но все одно — реконструируемые ископаемые ландшафты, пусть и не холодные степи, а сухие тундры, имели крайне низкую продуктивность.

Как же соотнести бесспорное существование бесчисленных крупных травоядных животных с предполагаемой бедностью растительного покрова? Овцебык зимой на о. Врангеля живет в местностях со столь скудной растительностью, что трудно представить, как он умудряется прожить. Северный олень на малопродуктивных для прочих копытных пастбищах также кормится лишайниками, практически несъедобными для других животных. Да и нужно ли связывать травоядных животных с господствующим ландшафтом? Например, лоси в еловом лесу погибли от голода, но прекрасно себя чувствуют вдоль рек, те-



Вечное «цветение» накипных лишайников.

Здесь и далее фото Д.И.Бермана



На Чукотке лето в разгаре. 3 июля 2011 г.

кущих среди тех же ельников, ибо в долинах всегда изобилие разных ив. Все известные пастбищные системы, будь то в Африке или Тибете, едины в одном: животные, чтобы не стравить пастбища, постоянно кочуют. Ближайший тому пример — северный олень. Может, и в плейстоцене было так же: животные кочевали по огромным пространствам.

Найдется немало противников «морихусной» модели, считающих, что большой мамонт мог прокормиться только на высокотравных пастбищах. Однако напомним, что никто и не пытался корректно оценить численность мамонтовой фауны. Огромные скопления костей крупных животных производят ни с чем несравнимое впечатление. Но нельзя забывать, что кости этих животных вымыты из

толщ, формировавшихся в течение десятков тысяч лет. Сколько времени они пролежали на берегу и не смывались паводками — можно только гадать. На сколько метров за это время отступил берег? ... Не мы придумали версию, по которой трупы сносились по реке в тихие заводи многочисленных проток огромных дельт, где и скапливались кости: теперь они удивляют нас количеством. Может быть, и не было огромных стад животных, а значит, не нужны тучные пастбища?

* * *

В конце июня наступила великая сушь и жара. Порой терялось ощущение пространства — где ты, на Чукотке ли? Наши насекомые затаились во влажной и прохладной почве. Потом наступило лето, со ... снегом, не долго, но на достаточное время,

чтоб с тоской вспоминалась жара. Она вновь пришла...

Не зря мы стремились на Паляваам, не зря здесь был учрежден Памятник природы Большими Ботаниками из Петербурга. Паляваам помог нам еще больше укрепиться в «морихусной» модели реконструкции малопродуктивной плейстоценовой тундростепи. Можно считать доказанным, что в бассейн Паляваама не проникают американские виды и подвиды насекомых, широко распространенных на Чукотском полуострове и в бассейне Амгуэмы. Зато здесь не на участках тундростепи, а просто в сухих тундрах в массе живут степные по происхождению виды, сохранившиеся с «тундростепных времен» плейстоцена. Может, как и в других местах Чукотки также? Выяснить это — достойная задача на будущее... ■

Метавивианит или метаферроштрунцит?

Р.К.Расцветаева,

доктор геолого-минералогических наук

Институт кристаллографии им.А.В.Шубникова РАН
Москва

Нередко минералогии (и не только) задают вопрос — так ли уж необходимо знать внутреннее строение минерала? Разве не достаточно описать его внешний вид, определить химический состав, изучить оптические свойства, измерить плотность и твердость, снять порошковую рентгенограмму? А если есть еще ИК- или мессбауэровские спектры или термические константы, то и желать больше нечего. Посмотрим, так ли это?

Совсем недавно мы столкнулись с ситуацией, когда почти 40 лет оставалась неопределенность в статусе минерала метавивианита.

Минерал найден К.Ритцем на руднике Биг Чиф в Южной Дакоте (США) [1]. Его химический состав несложный: он содержит железо, фосфор и воду и укладывается в формулу $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Своим цветом прозрачные сине-зеленые кристаллы метавивианита напоминают симплезит — тоже железистый и водный минерал, но с мышьяком вместо фосфора. Из-за неоднородности кристаллов твердость метавивианита не определялась, а кристаллы описывались то мутными, то просвечивающими. Оптические измерения привели к некорректным значениям индекса рефракции, а ИК-спектры из-за включений аморфного сантабарбарита не отвечали ни чистому вивианиту, ни метавивианиту.

В названии минерала греческая приставка *мета* указывала на определенную связь с вивианитом (рис.1), который назван в честь открывшего его английского минералога Дж. Вивиана. Предположение авторов о диморфности триклинного метавивианита и моноклинного вивианита основывалось на отличиях в их симметрии. Однако диморфность предполагает полную идентичность химических составов. Тем не менее, спустя несколько лет, в образце метавивианита из Керченского месторождения (Крым, Украина) наряду с двухвалентным установили и трехвалентное железо [2]. В вивианите же все железо двухвалентное. А эти формы железа считаются разными элементами. Их соотношение ($\text{Fe}^{2+}:\text{Fe}^{3+} = 15:85$), определенное мессбауэровским спектром, означает,

что керченский минерал содержит преимущественно трехвалентное железо, отличаясь как от вивианита, так и от метавивианита Ритца. По сути дела, он представляет собой третий минерал — керченит.

К.А.Роджерс с соавторами [3] проанализировал мессбауэровские спектры нескольких образцов метавивианита с разным соотношением $\text{Fe}^{2+}:\text{Fe}^{3+}$ и предложил для них общую формулу $\text{Fe}_{3-x}\text{Fe}_x^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_x \cdot (8-x)\text{H}_2\text{O}$ ($x > 1.4$), которая, однако, не отвечала на вопрос, как оба типа атомов железа распределены в структуре минерала.

С этой проблемой к нам обратились коллеги из Бразилии. Они нашли и исследовали гомогенный образец метавивианита из пегматитовой породы в Бо Виста, что в западной части провинции Минаис Джераис (Бразилия). А нам предстояло детально разобраться со структурой этого минерала.

Параметры ячейки триклинного метавивианита и родственных ему минералов — моноклинного вивианита и триклинного ферроштрунцита имеют сходство (таблица). Химический состав метавивианита определялся методом локального рент-



Рис.1. Радиальные агрегаты вивианита, центральные части которых сложены метавивианитом.

Фото М.В.Лейбова

Таблица

Размеры ячеек и симметрия метавивинита и родственных минералов

Минерал	Метавивинит	Вивинит	Ферроштрунцит
Формула	$\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_3^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$\text{Fe}_3^{3+}(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	$\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_3^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Пространственная группа	триклинная $P\bar{1}$	моноклинная $C2/m$	триклинная $P1$ или $P\bar{1}$
a (Å)	7.989(1)	4.70	10.20
b (Å)	9.321(2)	13.44	9.78
c (Å)	4.629(1)	10.06	7.38
α (°)	97.34(1)	90	89
β (°)	95.96(1)	103.5	97.9
γ (°)	108.59(2)	90	117.4

геноспектрального анализа в сочетании с мессбауэровской спектроскопией, а содержание воды — методом хроматографического анализа газообразных продуктов прокаливания. Согласно мессбауэровским данным, отношение $\text{Fe}^{2+}:\text{Fe}^{3+} = 43:57$, что близко к голотипному образцу Ритца из рудника Биг Чиф.

Рентгеноструктурный анализ выполнен нами на современном дифрактометре «Xcalibur Oxford Diffraction», оснащённом CCD-детектором.

Основу структуры метавивинита образуют слои, в которых содержатся пары реберно связанных октаэдров $[\text{Fe}_2^3+\text{O}_4(\text{H}_2\text{O},\text{OH})_4]$ и одиночные октаэдры состава $[\text{Fe}^{2+}\text{O}_2(\text{H}_2\text{O})_4]$. Распределение атомов двух- и трехвалентного железа (ионные радиусы которых различаются на 0.1 Å) удалось сделать с учетом разницы в размерах октаэдров (рис.2). Спаренные по ребру октаэдры меньше (расстояния катиона до вершин октаэдра в пределах 2.010—2.127 Å) и хорошо подходят для более мелких атомов трехвалентного железа (с небольшой примесью двухвалентных атомов железа и магния), в то время как в одиночном октаэдре эти расстояния заметно больше и составляют 2.075—2.196 Å. Не только состав, но и роль октаэдров в структуре различна. Если спаренные $\text{Fe}(2)$ -октаэдры объединяются фосфорными тетраэдрами в колонки, идущие вдоль короткого на-

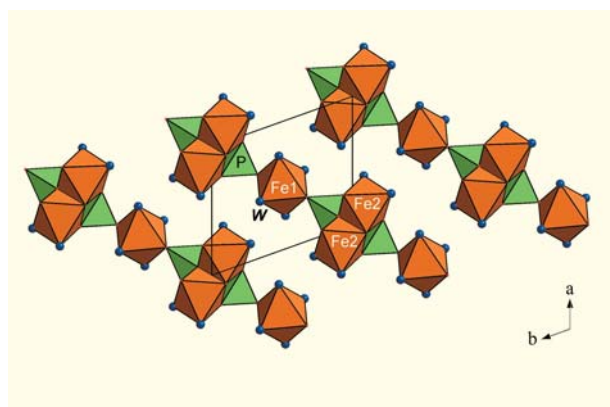


Рис.2. Кристаллическая структура метавивинита в проекции на плоскость (100).

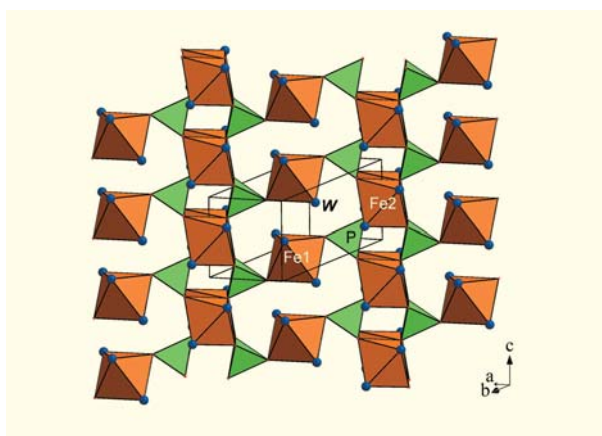


Рис.3. Гетерополиэдрический слой в структуре метавивинита.

правления $a = 4.6$ Å, то более крупные одиночные $\text{Fe}(1)$ -октаэдры связывают эти колонки через свободные вершины тех же P-тетраэдров в слое (рис.3).

Распределение атомов двух- и трехвалентного железа по позициям $\text{Fe}(1)$ - и $\text{Fe}(2)$ -октаэдров не согласуется с установленным в структуре керченского образца [2]. В нем оба октаэдра меньших размеров (средние расстояния катион—анион 1.994 и 2.075 Å), а значит, обе позиции в них Fe^{3+} -доминантные.

Как мы уже отметили, метавивинит с идеализированной формулой $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_3^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ не диморфен по отношению к вивиниту $\text{Fe}_3^{3+}(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ [4]. Эти минералы различаются не только химически, но и структурно — главным образом сдвигом слоев относительно друг друга, что хорошо видно из сравнения их поперечных сечений (рис.4).

В действительности метавивинит диморфен ферроштрунциту $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_3^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Именно с этим минералом он имеет одинаковую формулу, но разную структуру. В структуре ферроштрунцита [5] (как и собственно штрунцита $\text{Mn}^{2+}\text{Fe}_3^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) [6] также можно выделить слои, но устроены они по-другому. Вместо спаренных по ребру октаэдров присутствуют свя-

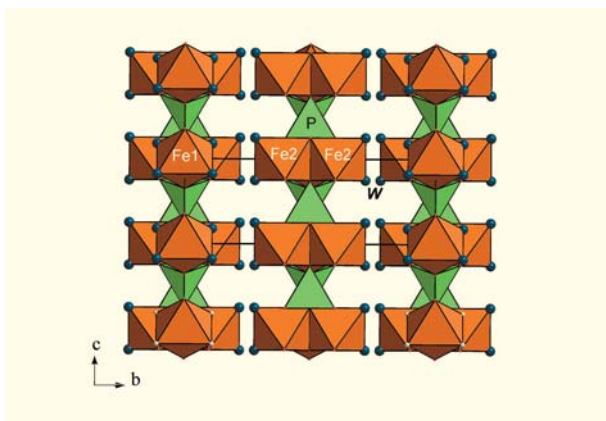


Рис.4. Укладка слоев в структурах вивианита (слева) и метавивианита.

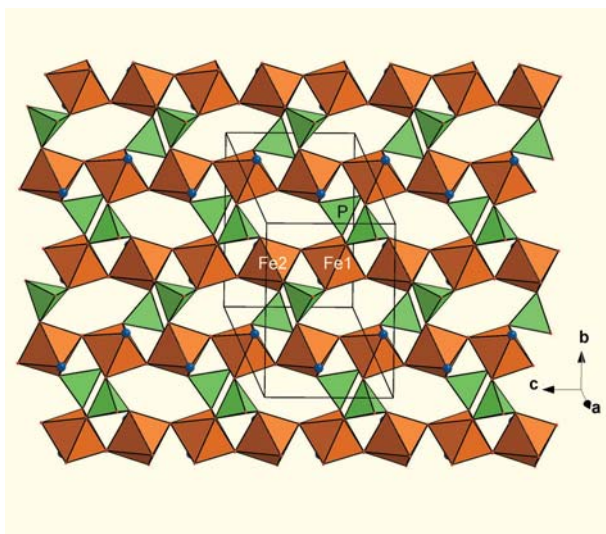
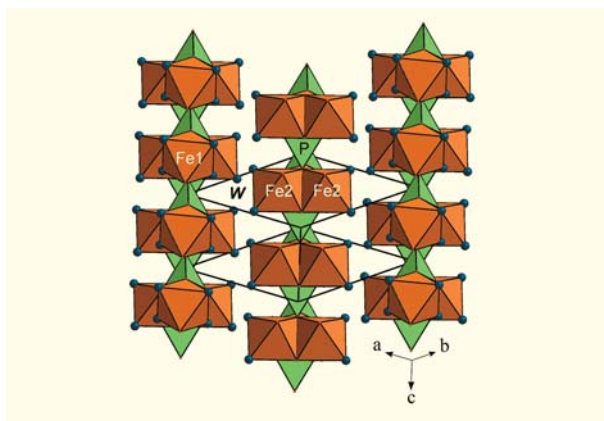


Рис.5. Гетерополиэдрический слой из октаэдров и тетраэдров в структуре штрунцита и ферроштрунцита.

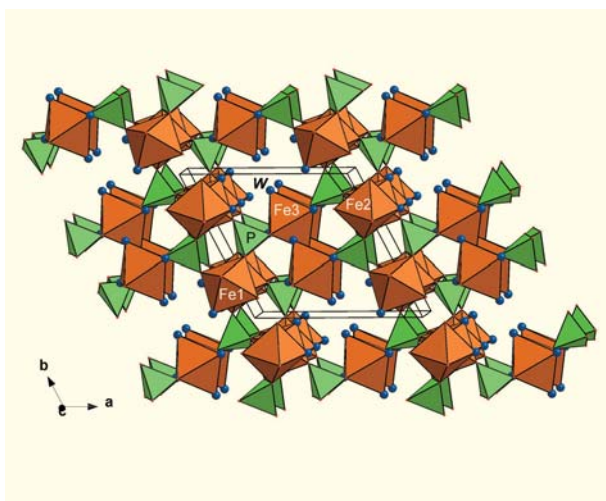


Рис.6. Каркасная структура ферроштрунцита.

занные вершинами цепочки октаэдров, стянутых попеременно сверху и снизу Р-тетраэдрами (рис.5).

Свободными вершинками Р-тетраэдров параллельные цепочки соединяются друг с другом в слой. Здесь также есть одиночные октаэдры (и тоже с двухвалентным железом), которые через четвертую вершину Р-тетраэдров объединяют слои между собой [7]. В результате в ферроштрунците образуется гетерополиэдрическая каркасная постройка (рис.6), в то время как слои в метавивианите изолированы и объединяются лишь водородными связями молекул воды и гидроксильных ОН-групп.

Метавивианит — трансформационный минерал, он образовался в результате низкотемпературного окисления вивианита с содержанием Fe^{3+} , превышающим 1.4 атома на формулу. И потому он относится к серии минералов с разной степенью окисления железа: вивианит — частично окисленный вивианит — метавивианит — Fe^{3+} -аналог метавивианита (керченит) — сантабарбарит. Члены этой серии, кроме аморфного сантабарбарита $Fe_3^{3+}(PO_4)_2(OH)_3 \cdot 5H_2O$ [8], характеризуются родственными структурами, что и делает возможной трансформацию этих минералов. А ферроштрунцит, хотя и имеет с метавивианитом одинаковую формулу и симметрию, не вписывается в этот ряд, поскольку образуется в иных условиях.

Итак, мы установили [9, 10] точную формулу метавивианита и показали, что он диморфен вовсе не вивианиту, а ферроштрунциту. Как же правильно называть этот минерал — метавивианит или метаферроштрунцит? Согласно решению Комиссии по новым минералам, номенклатуре и классификации минералов Международной минералогической ассоциации (КНМНК ММА), приставка *мета* может использоваться в разных ситуациях, указывая на любое родство с минералом, от которого это название происходит. Что ж, приставка *мета* к вивианиту остается в силе, так как означает всего лишь родство, а оно имеет место

быть: в случае метавивианита есть структурное, стехиометрическое (если игнорировать валентность железа) и, главное, генетическое родство с вивианитом, так как метавивианит всегда обра-

зует псевдоморфозы по вивианиту. Поэтому давно утвержденное название *метавивианит* формально остается правильным и по сей день. К тому же оно и короче. ■

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 10-05-00092а.

Литература

1. Ritz C., Essene E.J., Peacor D.R. Metavivianite, $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, a new mineral // Amer. Miner. 1974. V.59. P.896—899.
2. Dormann J., Gaspérin M., Poullen J.-F. Etude structurale de la sequence d'oxydation de la vivianite $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ // Bulletin de Miner. 1982. V.105. P.147—160.
3. Rodgers K.A. Metavivianite and kerchenite: a review // Mineral. Mag. 1986. V.50. P.687—691.
4. Rodgers K.A., Kobe H.W., Chibils C.W. Characterization of vivianite from Catavi, Liallagua, Bolivia // Mineralogy and Petrology. 1993. V.47. P.193—208.
5. Tassel R., Grave E. Ferrostrunzite from Arnsberg, Sauerland, Germany // Neues Jahrbuch fur Mineralogie. Monatshefte, 1992. S.207—212.
6. Fanfani L., Tomassini M., Zanazzi P.F., Zanzari A.R. The crystal structure of strunzite, a contribution to the crystal chemistry of basic ferricmanganous hydrated phosphates // Mineralogy and Petrology. 1978. V.25. P.77—87.
7. Peacor D.R., Dunn P.J., Simmons W.B. Ferrostrunzite, the ferrous iron analogue of strunzite from Mullica Hill, New Jersey // Neues Jahrbuch fur Mineralogie. Monatshefte, 1983. S.524—528.
8. Pratesi G., Cipriani C., Giuli G., Birch W.D. Santabarbarite: a new amorphous phosphate mineral // European Journal of Miner. 2003. V.15. P.185—192.
9. Чуканов Н.В., Шолз Р., Аксенов С.М. et al. Metavivianite, $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: new data and formula revision // Mineral. Mag. 2012. V.76. №3. P.725—741.
10. Расцветоваева Р.К., Аксенов С.М., Чуканов Н.В. Первое определение кристаллической структуры метавивианита // Доклады АН. 2012. Т.445. №1.

«Куриные боги» брахиопод

В.Н.Комаров,

кандидат геолого-минералогических наук

Е.О.Дирксен, И.Н.Рузаева

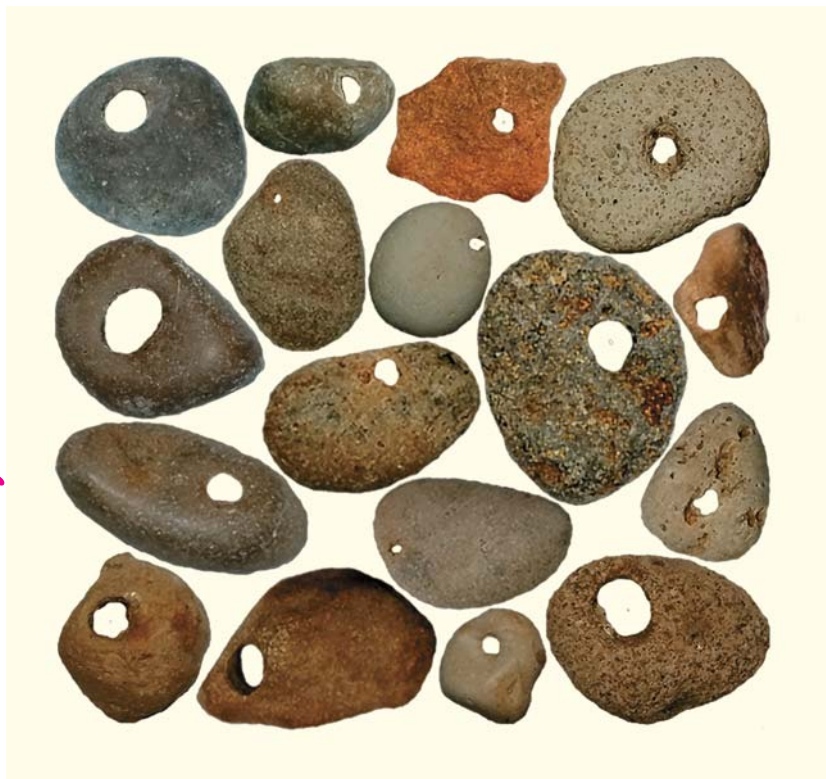
Российский государственный геологоразведочный университет им.С.Орджоникидзе
Москва

Многим из нас хорошо знакомо понятие «куриный бог». Это небольшой камень с одним или несколькими сквозными отверстиями естественного происхождения, чаще всего проточенными водой. С куриными богами связы-

ваются различные мифологические представления. В древности их считали волшебными талисманами, которым в первую очередь приписывалась магическая способность оберегать домашних животных и жилища от различных злых сил. Считая, что сквозное отверстие символизирует преодоление земных

препятствий, люди также верили, что эти камешки приносят удачу своему владельцу и помогают справляться с физическими недугами. Удивительно, но сходные с куриными богами объекты можно встретить и в живой природе. В частности, уникальный пример этого обнаруживается среди брахиопод.

© Комаров В.Н., Рыбакова А.В., 2012



Фотографии куриных богов с Южного берега Крыма. Коллекция В.Н.Комарова.
Здесь и далее фото В.Н.Комарова

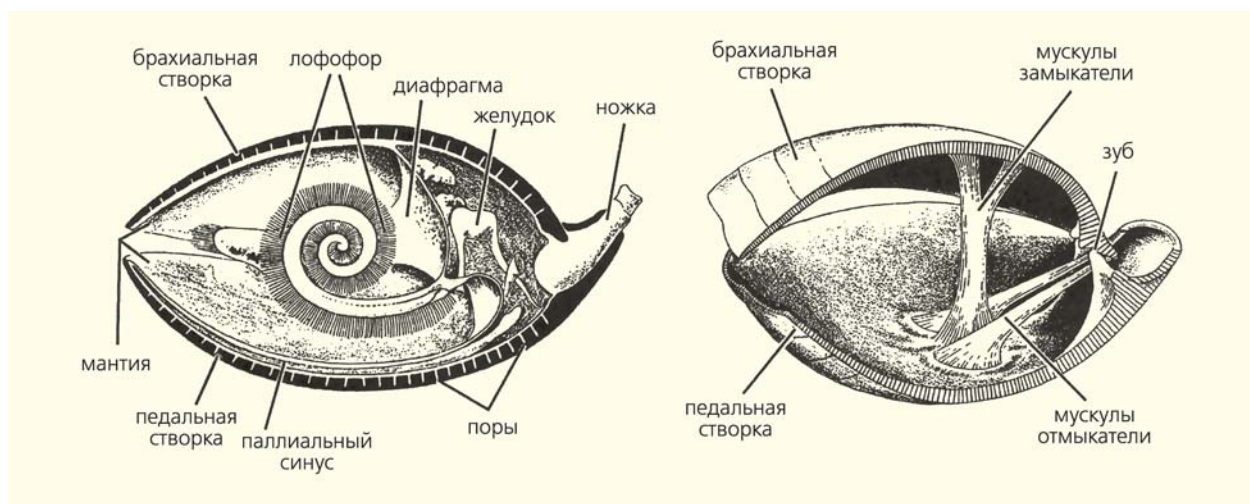


Брахиоподы со сквозным отверстием из нижнебарремских отложений. Горный Крым, окрестности с.Верхоречье, южный склон горы Белой.

Брахиоподы (от греч. *βραχιον* — плечо и *ποδος* — нога) представляют собой одиночных донных животных, достигающих 40 см в длину. Их раковина состоит из двух створок — брюшной и спинной, причем брюшная, как правило, крупнее. Состав раковины известковый, хитиновый или хитиново-фосфатный. Плоскость симметрии проходит не между створками, а через макушки. У брахиопод хорошо развита мускульная система. С ее помощью происходит открывание и закрывание створок. Сочленение створок также обеспечивается с помощью замка (двух небольших зубов и двух зубных ямок). Его наличие или отсутствие в сочетании с другими признаками положено в основу разделения брахиопод на два класса: беззамковых и замковых.

Полость раковины разделена поперечной перегородкой — диафрагмой — на две неравные части: большую переднюю и меньшую заднюю. Передняя часть выстлана складками мантии и называется мантийной полостью. В ней находятся две спирально свернутые руки (лофофоры) с ресничками. У основания рук в диафрагме расположено ротовое отверстие. Благодаря мерцанию ресничек вода в мантийной полости движется и обновляется, подгоняя частички пищи величиной от 5 до 100 мкм к ротовому отверстию. В этот размерный диапазон попадает большинство одноклеточных водорослей, жгутиконосцев и других одноклеточных. Брахиоподы являются фильтраторами. В качестве пищи используют они и агрегаты коллоидного органического вещества. При большой концентрации неподходящей взвеси реснички рук прекращают работу — фильтрация приостанавливается. К загрязнению особенно чувствительны молодые особи замковых брахиопод.

Брахиоподы обитают в морских и редко в солоноватовод-



Строение внутренних органов брахиопод (слева) и схема расположения мускулов.

ных бассейнах, температура воды в которых меняется от -1.8 до $+30^{\circ}\text{C}$. Эти животные известны от уреза воды до огромных (3–5 км) глубин океанического ложа. Наибольшим количеством видов брахиоподы представлены на материковых склонах (в верхней части которых их численность достигает 700 экз. на 1 м^2 дна), нередко играя ведущую роль в сообществах донных организмов.

Основной экологический тип современных брахиопод составляют якорные формы. Прикрепление их к субстрату осуществляется с помощью ножки цилиндрической формы, отходящей от задней части тела. Обычно ножка короткая и слабая. Она не поддерживает животное над субстратом, а только лишь прикрепляет его. Некоторые брахиоподы цементируют свою брюшную створку к твердому субстрату. Одни прирастают всей поверхностью створки, другие — только ее макушкой. Часть брахиопод представляют собой зарывающиеся формы. Они обитают в вертикальных норках, прорытых в илисто-песчаных грунтах. Некоторые свободно лежат на грунте.

Расцвет брахиопод относится к палеозойской эре. Количество вымерших видов (свыше 10 тыс.) многократно превыша-

ет количество современных (не более 400 видов). Однако современные формы характеризуются значительным таксономическим разнообразием, будучи представлены многочисленными в систематическом отношении ветвями большого филогенетического дерева. Его разветвления прослеживаются по ископаемым остаткам начиная с кембрийского периода.

Среди большого количества брахиопод внешнее сходство с куриными богами имеют только представители двух редких родов отряда теребратулид — *Pygites* и *Pygope*, насчитывающих в совокупности всего шесть видов, которые установлены главным образом в XIX и начале XX в. Находки новых видов чрезвычайно редки [1].

Указанные брахиоподы достигали довольно крупных размеров (до 5–6 см) и характеризовались округло-треугольной или овальной раковиной. В отличие от всех других брахиопод, в процессе роста у них сильно разрастались в стороны боковые края раковины, и у молодых экземпляров она становилась отчетливо двулопастной. У взрослых форм боковые края раковины соединялись по средней линии, оставляя сзади горизонтальное или немного косое сквозное отверстие, за-

нимающее центральное или приближенное к заднему краю положение.

Брахиоподы со сквозным отверстием появились только в самом конце юрского периода — в титонском веке — и закончили свое развитие в середине мелового периода — в раннем барреме [2]. Географическое распространение их относительно небольшое. Они обитали главным образом в Северной Африке (на территории современных Алжира, Марокко, Туниса) и Европе (Австрия, Болгария, Венгрия, Гренландия, Испания, Италия, Польша, Румыния, Франция, Швейцария). Известны они также и на территории Горного Крыма и Кавказа.

Трудно сказать определенно, почему среди брахиопод возник такой необычный, напоминающий стилизованных куриных богов морфологический тип. Появление раковин с таким причудливым строением можно рассматривать как попытку эволюции создать новый, способствующий более эффективной фильтрации, вариант движения потока воды. Особенности циркуляции, в том числе скорость и степень разделения входящего и выходящего потоков, а также полнота раскрытия створок, зависят от самых разных причин. В частности установлено,



Уникальные местонахождения готеривских и барремских брахиопод со сквозным отверстием в раковине. Горный Крым, Бахчисарайский р-н, окрестности с.Верхоречье.

что современные брахиоподы с прикрепленным лофофором (он может целиком прирастать к мантии и передней стенке тела) вынуждены при фильтрации широко открывать створки. Однако при этом нет строгого разделения потоков воды. У брахиопод с лофофором, поднятым в мантийную полость и свободно в ней располагающимся (он прирастает к передней стенке тела только вблизи рта), обеспечивается полное разделение входящего и выходящего потоков воды при небольшом угле

раскрытия раковины. У современных теребратулид скорость выходящего потока воды в 2.5—3.3 раза больше, чем входящего.

По всей видимости, к определенной специфике процесса фильтрации приводило не только возникновение сквозного отверстия. Важными были его размер и положение. Существуют предположения [2], что брахиоподы с маленьким, приближенным к заднему краю раковины сквозным отверстием обитали на больших глубинах, чем формы с крупным цент-

ральным сквозным отверстием. Дефицит пищевых ресурсов, связанный с большой глубиной, должен был, по всей видимости, компенсироваться более эффективной циркуляцией воды в раковине.

Вопросы функциональной морфологии одни из самых сложных в палеонтологии. Как мы говорили, последние из брахиопод со сквозным отверстием вымерли около 130 млн лет назад, унеся с собой тайну этой удивительной архитектуры, тайну куриных богов брахиопод. ■

Литература

1. Комаров В.Н., Санникова Е.И. Первая находка представителя рода *Pygites* Buckman (Terebratulida, Brachiopoda) в Горном Крыму // Изв. вузов. Геология и разведка. 2009. №3. С.85—87.
2. Kazmer M. Pygopid Brachiopods and Tethyan margins // Mesozoic Brachiopods of Alpine Europe. Budapest, 1993. P.59—68.

Арктика в судьбе О.Ю.Шмидта

Ю.К.Бурлаков
Москва

*Я благодарю судьбу за ту жизнь, которую она мне дала.
Сколько было хорошего и интересного.*

О.Ю.Шмидт

В 2012 г. российские полярники отметили 120-летие выдающегося ученого и общественного деятеля, первого начальника Главного управления Северного морского пути академика Отто Юльевича Шмидта (1891—1956). Достойным подарком к юбилею стала новая книга известного историка Арктики В.С.Корякина «Отто Шмидт».

Полярные страницы в биографии Шмидта заняли всего 10 лет — срок не такой уж большой, но оказались очень яркими и значительными. Для нескольких поколений советских людей он остался авторитетным и колоритным «начальником Арктики», за которым стояла целая череда исторических дел и событий.

Доктор географических наук, гляциолог по профессии, Владислав Сергеевич Корякин начал свою работу в Арктике с двухгодичной зимовочной экспедиции по программе «Международный геофизический год 1957/1958» на Новой Земле. Он принимал участие и в целом ряде других полярных экспедиций, побывал на многих удаленных островах и архипелагах, плавал по Северному морскому пути и стал заместителем председателя по Отделению географии полярных стран при Московском центре Русского географического общества. Корякин опубликовал 12 популярных книг по полярной тематике (помимо ряда коллективных научных монографий). Все это позволило ему с глубоким знанием дела описать арктический этап деятельности Шмидта,

вспомнить много новых и малоизвестных эпизодов из жизни выдающегося полярного исследователя.

Автору удалось показать довольно сложную структуру Главсевморпути, а также его взаимоотношения с вышестоящими инстанциями. Многие исследователи, включая самых опытных полярников, до последнего времени считали, что Отто Юльевич попал на пост начальника Главного управления Северного морского пути (ГУ СМП) чуть ли не случайно, благодаря стечению обстоятельств, да и само решение о создании этой организации в виде главка было принято якобы экспромтом. На самом деле все обстояло значительно сложнее. И автор книги убедительно показал, что Шмидт в первую очередь использовал знание и опыт своих предшественников — не только капитана В.И.Воронина, но и автора первых ледовых прогнозов В.Ю.Визе. С его «подсказки» Шмидт организовал экспедицию на «Сибирякове» (уже имея экспедиционный опыт на Памире и в двух плаваниях на «Седове» в 1929—1930 гг.). Важно, что уже в первых арктических экспедициях Отто Юльевич успешно перенимал опыт у своих более сведущих в полярных делах коллег — прогнозиста Визе и горного инженера, представителя ресурсного направления Рудольфа Лазаревича Самойловича. Он руководил Институтом по изучению Севера, в 1930 г. преобразованным во Всесоюзный Арктический институт (ВАИ) и тем самым повысившим свой статус.

Корякин деликатно описывает непростые взаимоотношения



В.С.Корякин. ОТТО ШМИДТ.

М.: Вече, 2011. 259 с.

© Бурлаков Ю.К., 2012

Шмидта и Самойловича, роль которого с передачей ВАИ в систему Главсевморпути снижалась, поскольку ГУ СМП становилось преимущественно морской организацией. Уже поэтому фигура Отто Юльевича не была привлекательной для Рудольфа Лазаревича, учитывая и то обстоятельство, что Шмидт на время подготовки рейса «Сибирякова» выполнял обязанности директора ВАИ. Зато такая рокировка позволила Самойловичу возглавить научную группу по советской Арктике во время полета дирижабля «LZ-127 Граф Цеппелин» летом 1931 г. Он стал одним из ведущих специалистов в области перспективных аэрометодов, без которых в изучении Арктики было не обойтись. Возможно, Шмидт не испытывал к конкуренту теплых чувств, поскольку ему приходилось «доказывать» правомерность своего первенства в полярных исследованиях. Отсюда и довольно резкие (но по существу) высказывания в адрес директора ВАИ на совещании

партхозактива ГУ СМП в январе 1936 г., приведенные в книге. Но в чем можно быть абсолютно уверенным, так это в том, что Шмидт даже не предполагал, что его критика будет использована соответствующими органами для физической расправы с выдающимся ученым и полярником. Приведенные Корякиным документы убедительно доказывают, что Отто Юльевич сделал все возможное, чтобы отстоять своего предшественника, но парторганы и НКВД оказались сильнее...

Вскоре и сам академик Шмидт, будучи на руководящей должности в Главном управлении Северного морского пути, был заменен человеком с начальным церковным образованием. На банкете по случаю возвращения папанинцев из своего исторического дрейфа (состоявшегося по инициативе Шмидта) Сталин заставил Отто Юльевича славословить своего будущего преемника, что по-своему характеризует тогдашние отношения в верхах.

Фигура и личность Шмидта-полярника в истории освоения Арктики достаточно полно представлена в известных трудах В.Ю.Визе «Моря Советской Арктики» и М.И. Белова «Открытие и освоение Северного морского пути», в книге А.Ф.Лактинова «Северный полюс». В работах Е.П.Подвигина и Л.К.Виноградова, а также Л.В.Матвеевой больше отражена общественно-научная деятельность ученого. А в книге Корякина впервые ярко и насыщенно выписаны арктические страницы биографии Шмидта, одного из первых Героев Советского Союза. Автор настоящей рецензии посетил юбилейное заседание ученого совета в Институте физики Земли им.О.Ю.Шмидта, состоявшееся 11 октября 2011 г. И то, что основной доклад был доверен географу Корякину, а также реакция на его выступление говорят о том, с каким вниманием физики воспринимали малоизвестные факты из биографии основателя института. ■

Биология

Э.Кандель. В ПОИСКАХ ПАМЯТИ: Возникновение новой науки о человеческой психике. Пер. с англ. П.Петров. М.: Астрель; CORPUS, 2012. 736 с. (Из сер. «Элементы»)

Книга лауреата Нобелевской премии 2000 г. Эрика Канделя* «В поисках памяти» представляет собой, с одной стороны, автобиографический очерк, а с другой — попытку популярно рассказать об огромных достижениях в развитии нейронауки за последние 50 лет. Достигнутый в этот период прогресс

* Подробнее см.: Анохин К.В. Лауреаты Нобелевской премии 2000 года. По физиологии и медицине — А.Карлссон, П.Грингард, Э.Кендел // Природа. 2001. №1. С.10—13.

в понимании биологических механизмов высшей нервной деятельности и в самом деле впечатляющ и при этом малоизвестен широкой публике. Сам термин «нейронаука», включающий генетику, биохимию, молекулярную биологию, нейромедиаторов, анатомию и физиологию мозга и множество других специальных дисциплин, пока не прижился в отечественной литературе. В то же время интерес читателей к биологическим предпосылкам сознания и памяти, мышления и речи и другим аспектам психики человека велик как никогда. Эта тема напрямую связана с важнейшими мировоззренческими и философскими проблемами, волнующими каждого думающего человека, так что суждения одного из создателей современных

представлений о биологических основах психической деятельности несомненно заинтересуют многих.

Подход автора к столь сложной междисциплинарной проблеме, разумеется, субъективен и отражает специфическую методологию, которой он последовательно придерживался в течение всей своей научной карьеры. Подход этот сугубо редуционистский и биологический: мозг и его функции необходимо изучать по одной нервной клетке — нейрону, выбирая в качестве экспериментальных объектов самых простых животных и самые простые поведенческие реакции. Они могут служить аналогами или элементами гораздо более сложных нейронных структур и психических функций. В качестве экспери-

ментального подхода эта стратегия оказалась чрезвычайно успешной и заслужено принесла автору Нобелевскую премию. Намного более спорны теоретические и мировоззренческие выводы, касающиеся интерпретации этих результатов.

Несомненно, что базовые механизмы процессов, через которые реализуются высшие когнитивные функции, эволюционно консервативны, причем чем фундаментальнее уровень, на котором мы их анализируем, тем они консервативнее. Нейроны моллюсков мало чем отличаются от нейронов головного мозга млекопитающих, и механизм распространения нервного импульса вдоль аксона кальмара практически тот же, что в нервной системе человека. Механизм передачи возбуждения через синаптические контакты и модификации «силы» синаптической связи — основная тема исследований Канделя — также вполне универсальны. Можно ли отсюда сделать вывод, что «память» улитки и память человека — одно и то же, что высшая нервная деятельность сводима к условным рефлексам? Этот вопрос выходит далеко за рамки того, что можно изучать в биологическом эксперименте, и личный опыт автора как исследователя здесь скорее мешает, чем способствует объективному рассмотрению сложных теоретических вопросов. Однако он неизбежно затрагивает их, пытаясь подвести итоги более чем полувека исследований в области механизмов сознания и памяти. Такая цель слишком амбициозна для одной книги.

Надо отдать должное автору, как популяризатору, — он пишет просто о сложном, приводит множество схем и иллюстраций, которые очень помогают сориентироваться в деталях экспериментов и значении

полученных результатов. Книга снабжена довольно подробным именованным и предметным указателем, что позволяет использовать ее в качестве справочного пособия по нейронауке всем, кто хочет получить представление об этой дисциплине непосредственно от одного из ее создателей.

Геология

Ю.Н.Шариков, О.Н.Комиссар.
ДОЛЬМЭНЫ КАВКАЗА: Геологические аспекты и технологии строительства. Краснодар: Совет. Кубань, 2011. 208 с.

На территории Северо-Западного Кавказа предположительно в 4—2 тыс. до н.э. существовала цивилизация, от которой до нас дошли древние мегалитические сооружения, позднее названные дольменами. Внешне они похожи на каменные домики, где каждая стена может весить десятки тонн. Существуют древние адыгейские легенды о карликовом народе, использующем зайцев для верховой езды, которому великаны строили дома из камней. Вопрос об истинном назначении дольменов до сих пор открыт.

Комплексное изучение состава, структуры и текстуры горных пород как из самих дольменов, так и из обнажений в регионе позволило выяснить источники материалов для создания дольменов. Эти мегалитические постройки не были сложены из плит, добытых в карьерах и доставленных на места строительства. Они сформированы из пластичных масс особых горных пород — флюидолитов. Под действием мантийных флюидов некоторые осадочные горные породы были дезинтегрированы и выжаты на поверхность из недр в виде вязких масс, позднее литифицировавшихся.

Предложены наглядные модели возможных способов строительства дольменов разных типов, формирования скульптурных элементов на их поверхности. Изучение расположения и ориентации дольменов показывает их тесную связь с соляным циклом.

Выдвинута гипотеза о происхождении мегалитических построек в других частях света.

История науки

НОВОСЕЛЬЕ БИОЛОГОВ МГУ НА ЛЕНГОРАХ. Сост. Л.И.Лебедева. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2011. 736 с.

Новая книга по истории биологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова продолжает ранее опубликованные труды: «Автопортреты поколения биологов МГУ» и «Мозаика судеб биофаковцев МГУ».

Это издание посвящено важному этапу в истории университета — переезду из старого здания, с Моховой улицы, на Ленинские горы.

Московский университет на Ленгорах был построен в небывало короткие сроки — менее чем за четыре с половиной года, после войны. 1 сентября 1953 г. состоялся торжественный митинг. Это был праздник наукограда. Вырос новый студенческий город, где были созданы все условия для жизни, учебы, получения фундаментальных знаний и новых научных открытий, а также для всестороннего развития личности.

В основу этой книги, как и предыдущих, легли ответы на единую анкету, собранные от бывших студентов биофака. Одни из них начали учиться еще на Моховой, а затем вместе с преподавателями переехали в новое здание, другие стали первыми, кто с нуля обживал его.

Московский ботаник А.Н.Петунников

Г.И.Любина,

кандидат исторических наук

Институт истории естествознания и техники им.С.И.Вавилова РАН
Москва

Имя Алексея Николаевича Петунникова (1842—1919) едва ли знакомо широкому читателю, но знатокам Москвы второй половины XIX в. оно наверняка встречалось. Специалистам труды Петунникова, несомненно, известны, они упоминаются в сравнительно недавних работах по отечественной ботанике*.

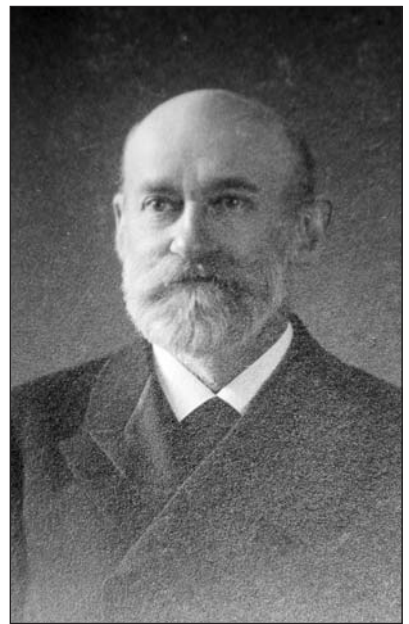
Алексей Петунников родился в 1842 г. в купеческой семье. Сначала немецкая Петропавловская школа при одноименном лютерано-евангелическом соборе, затем 2-я Московская гимназия дали хорошее знание латыни, языков, основ естествознания и гуманитарных наук. В гимназии в 1856 г. произошла встреча с молодым преподавателем Московского университета, ботаником Н.Н.Кауфманом. Он навсегда заронил у юного Петунникова интерес к миру растений, к собиранию гербариев.

В 1860 г. он стал учеником Кауфмана на кафедре ботаники при естественном отделении на физико-математическом факультете Московского университета. В доме Кауфмана в 1862 г. он познакомился со студентом третьего курса того же

факультета Г.Н.Вырубовым, будущим минералогом, кристаллографом и химиком, известным пропагандистом философии позитивизма. Вырубов сыграл заметную роль в судьбе Петунникова.

Друзей во многом не удовлетворяло преподавание в Московском университете, особенно чтение лекций «по тетрадам», в отрыве от практических лабораторных занятий и экскурсий. Они много сил отдали самообразованию, изучению научных дисциплин по зарубежным учебникам, опытам по аналитической химии в домашней лаборатории Вырубова, общению со старшими коллегами в Московском обществе испытателей природы (МОИП). Летом 1865 г. студенты предприняли научную экскурсию по долине р.Воронез до Липецка, где Вырубов изучал девонские отложения берегов реки, а Петунников интересовался флорой тамошних мест — этот материал пригодился ему для написания статьи о флоре Тамбовской губернии в «Бюллетене МОИП» (1865).

Рвение молодых людей было замечено на факультете, особенно после блестящей сдачи кандидатских экзаменов экстерном, сразу за все годы обучения. Осенью 1864 г. Вырубову было предложено читать лекции по минералогии в качестве приват-доцента, на что он ответил отказом. Петунникову в 1865 г. предложили стипендию братьев Рачинских для завершения научного образования за границей. Вырубов из самых лучших по-



А.Н.Петунников.

буждений уговорил приятеля отказаться от стипендии и вызвался сам финансировать его зарубежную поездку.

Осень 1865 — лето 1866 г. друзья провели за границей. В Париже они подготовили магистерские диссертации (экзамены были сданы еще раньше), а лето провели, путешествуя по Италии (посетили Геную, Флоренцию, Рим). В Неаполе молодые люди задержались немного дольше. Вырубов занимался кристаллографией у знаменитого итальянского минералога А.Скакки, а Петунников изучал водоросли и фауну Неаполитанского залива, часто в обществе молодого зоолога А.О.Ковалевского.

* Имя и работы А.Н.Петунникова в разной связи упоминались в статьях: *Щербатова А.А.* История русской ботанической терминологии // Труды ИИЕиТ АН СССР. М., 1960. Т.32: История биологических наук. Вып.7. С.203—250; *Успенская Н.В.* «Природа» до «Природы» // Природа. 1981. №11. С.72—73.

Осенью 1866 г. друзья были в Москве. Н.Н.Кауфман и С.А.Рачинский диссертацию Петунникова к защите приняли, а вот у Вырубова произошла заминка. Возможно, это было следствием простой халатности или скрытая месть за многие дерзости, которые он позволял себе по отношению к Московскому университету. Задержка с защитой диссертации подтолкнула Вырубова к решению, которое зрело в нем уже давно. В ноябре 1866 г. он навсегда покинул Россию, поселился в Париже и занялся там пропагандой идей философии позитивизма.

Петунников в январе 1867 г. успешно защитил магистерскую диссертацию, однако не был оставлен на кафедре, как это практиковалось для перспективных молодых людей. Благодаря истории с Вырубовым ему была заказана дорога в университет, даже несмотря на расположение к нему Кауфмана и Рачинского.

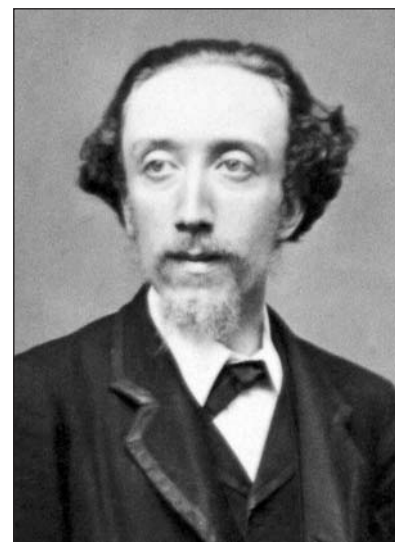
Конфликт с Московским университетом отразился на несостоявшейся «академической» карьере Петунникова. После неудачного участия в 1868—1869 гг. в конкурсах на замещение вакантных мест в Петровской сельскохозяйственной академии в Москве и Лесной академии в Петербурге [1. Л.135, 167] он около 10 лет преподавал в гимназиях, в Константиновском межевом институте и в Александровском военном училище, где состоял приватным преподавателем иностранных языков. Приходилось заниматься и репетиторством. В число молодых людей, которых он заразил своей любовью к природе, попал один из лидеров отечественной астрофизики А.А.Белопольский (Петунников был наставником его старшего брата) [2. С.251—253].

В начале 1870-х годов Петунникову удалось найти себя в журналистике, он оставил преподавание и репетиторство как средство заработка, хотя в его окружении, по свидетельству современников, всегда бы-

ло много молодых людей, с которыми он охотно делился своими знаниями.

У Петунникова со студенческих лет, не без влияния Вырубова, сложилось скептическое отношение к кружку учеников А.П.Богданова в Московском университете и к самому мэтру, которого оба считали дельцом от науки. Напряженные отношения с московскими биологами сопровождали Петунникова многие годы. Все это мешало преподавательской карьере, но причины заключались и в самой натуре Алексея Николаевича. Он был человеком прямым, независимым, иногда слишком категоричным и непреклонным в своих убеждениях и заблуждениях, лишенным необходимой для устройства карьеры гибкости и изворотливости, и это делало его подчас неуживчивым.

Отсутствие состояния и необходимость содержать большую семью очень остро ставили перед ним проблему заработка. Часто он был озабочен поисками работы. Но никакие житейские передеряги не смогли заставить Петунникова отступить под действием внешних «гнетущих обстоятельств», уже с молодых лет он вместе с Вырубовым выработал отвращение ко всякого рода лжи, фальши и фарисейству. К счастью, на его жизненном пути встретились люди, далекие от «ученой интриги», которые сумели оценить его систематический ум, незаурядную работоспособность, умение без остатка отдаваться любимому делу. Петунников всю жизнь оставался «приватным» исследователем, не связанным ни с одной официальной корпорацией. Многие его занятия были далеки от собственно научных изысканий, но и в них он сумел использовать свою эрудицию и методичность поиска, свойственную ученому. Во всех областях интеллектуальной деятельности, которыми Петунников занимался (в популяризации научного знания, публицистике, научной библиографии) он оставил за-



Г. Н. Вырубов.

метный и оригинальный след: «красой корпорации» считали его и русские ботаники-флористы, и московские библиофилы, и члены Московского общества испытателей природы.

В 1870—1871 гг. Алексей Николаевич сотрудничал в еженедельной газете либерального толка «Русская летопись», которую выпускал профессор Петровской сельскохозяйственной академии М.П.Щепкин. Как редактор он полагал основной задачей газеты утверждение завоеваний либеральных реформ 1860-х годов. Петунников опубликовал в газете серию статей под общей шапкой «Наши просветители» (1870) и «Русские ученые и русская наука» (1871). Тон многих заметок был острокритическим, иногда язвительным.

Суть его претензий можно свести к двум пунктам: первый — опасение низведения занятий наукой до дилетантского уровня, дешевая ее популяризация, связанная с аляповатой рекламой и участием толстосумов; второй — бюрократизация науки, сужение ее внутренней автономии. Время показало чрезмерность опасений в том, что наука превратится в занятие дилетантов. Сам прогресс исследований, их дальнейшее ус-

ложнение и специализация поставили предел любительству в науке. Демонстрация и популяризация ее достижений в форме общенациональных и региональных выставок и музеев вполне оправдала себя, насколько не конкурируя с образовательными задачами средней и высшей школы, не подменяя, но представляя для них определенное подспорье. Участие «тугих кошельков» в становлении научных обществ, музеев, технического образования в России, когда оно шло рука об руку с инициативой самих ученых, оказалось также небесполезным для отечественной науки. Здесь Петунникова подвело общее предубеждение против некоторых деятелей и их начинаний.

Что касается отступления от либеральных завоеваний университетской реформы 1863 г., они обнаружались уже в конце 1860-х годов (постепенно сокращались рамки финансовой и административной автономии университетов, что нашло подтверждение в университетском уставе 1884 г.). Петунников отразил общее тревожное состояние умов значительной части русской интеллигенции начала 1870-х годов. Картина представлялась ему довольно безотрадной. Взяв за точку отсчета 1858 г., время смерти «блестящего популяризатора» науки К.Ф.Рулё и пору надежд для русской науки, он писал: «С тех пор прошло 16 лет; многое изменилось у нас за это время в науке, в искусстве и в русской литературе. Краски поблекли, осенний колорит подернул эти стороны русской жизни — колорит безжизненный, печальный, лишенный энергии и силы» [3. С.296]. Против распространения этого «печального колорита» и была направлена разоблачительная статья Петунникова. Критический тон газеты послужил причиной ее закрытия в 1871 г., редактор лишился профессорской кафедры.

Журналистские опыты Петунникова продолжились в на-

учно-популярном журнале «Природа» (1873—1877). Редакторы, С.А.Усов и Л.П.Сабанеев, задумали журнал как продолжение «Вестника естественных наук» (1854—1860) Рулё. Они позаботились, чтобы «издание было возможно разнообразным, научным, при известной, не доведенной до крайности популярности, и свободным от всякой тенденциозности» [4. С.1].

«Природа» чутко отражала течения современной научной мысли, стараясь не впасть при этом в тенденциозность. На ее страницах соседствовали статьи известного философа религиозного толка Н.Н.Страхова, противника дарвиновской теории происхождения видов, и ее приверженцев: географа Н.А.Северцова, геолога Г.А.Траутшольда, ботаника А.Н.Бекетова, зоолога и писателя Н.П.Вагнера.

По наблюдениям Н.В.Успенской, занимавшейся историей журнала, в «Природе» преобладала биолого-географическая тематика, господствовало дарвиновское направление, а Петунников оказывал существенное влияние на редакторскую политику издания. Возможно, Алексей Николаевич помогал в выборе статей западноевропейских авторов и, подобно Д.Н.Анучину, занимался их переводами на русский язык, редактированием и правкой.

Петунников написал для журнала несколько статей по ботанике. Его журналистский почерк в этом издании совершенно преобразился. В популярной, часто поэтической форме он рассказывал о прорастании семян растений, о цветении воды, о жизни морских водорослей. Свои описания он сопровождал описанием микроскопа и незамысловатых опытов, которые могли бы прояснить любознательному читателю природу отмеченных им явлений. В 1877 г. журнал перестал существовать. Дорогостоящее издание не окупало себя и не собирало достаточно подписчиков.

Недостаток научной литературы и учебников на русском языке побуждал многие издательства к переводу сочинений западных авторов. В числе прочих этим занимались московские издатели и книготорговцы Анатолий и Николай Мамонтовы (младшие братья известного предпринимателя и мецената Саввы Ивановича Мамонтова), каждый из них имел свое издательство и книжную лавку. Работа по распространению в России западноевропейской естественнонаучной литературы на долгие годы связала Петунникова с братьями Мамонтовыми. Он подбирал сочинения западных ученых, делал переводы, писал предисловия, редактировал издаваемые книги. Здесь неоценимую услугу оказывал ему Вырубов. Он консультировал Петунникова по части книжных новинок, вел переговоры с издательствами, а иногда и с авторами, присылал необходимые книги, а в случае нужды прибегал к консультациям западных коллег. Главное, благодаря широкой эрудиции Вырубова и его хорошему знанию книжного рынка, в число переводимых попадали наиболее достойные учебники и книги. В издательстве Н.И.Мамонтова был напечатан перевод книги французского академика А.Лаппарана «Минералогия» (1899), на издание которой Вырубов положил много сил, стараясь обеспечить русских минералогов, как он полагал, «неоценимым пособием».

В 1873 г. Петунников при поддержке М.П.Щепкина стал сотрудником Московской городской управы. Он начал с должности «заведующего бульварами», занимался их разбивкой, и вскоре его деятельность стала универсальной. Он заботился о насаждении зелени, заощении улиц и их озеленении, о строительстве водопровода и канализации, о сооружении городских хозяйственных построек, об общественном транспорте. Газета «Русские ведомости» указывала, что не было прак-

тически ни одной стороны городского благоустройства, которой бы он не занимался.

Деятельность Петунникова как члена городской управы характеризует основательный, всесторонний подход к рассматриваемым проблемам, обращение к их предыстории, широкое использование западного опыта, почерпнутого из чтения литературы и общения с коллегами во время зарубежных командировок. В своей практике (как и в практике управы вообще) он часто прибегал к помощи научной экспертизы, для чего приглашал инженеров-строителей, ученых из Московского университета, из различных научных обществ, Петровской сельскохозяйственной академии, Межевого Константиновского института. Многих из них Петунников знал лично. В частности, в подготовке ряда проектов по водоснабжению столицы ему помог признанный знаток геологии Московской губернии Г.А.Траутшольд, знакомый еще со студенческой скамьи. Иногда приходилось обращаться за содействием к компетентным иностранным специалистам. Тогда Петунников, хорошо знавший европейские языки, выступал посредником и переводчиком. Участие в делах управы было разнообразным: Алексей Николаевич организовывал практические и исследовательские работы, разрабатывал проекты городского благоустройства, оформлял их в виде записок для Московской городской думы, представляя вместе с другими текущими вопросами на ее заседаниях. Ему приходилось вникать в малейшие детали инженерно-научного содержания проектов, разрабатывать практическую сторону дела, составлять финансовые сметы, устанавливать тарифы на работы и поставляемые материалы, определять стандарты качества, искать поставщиков, подрядчиков, кредиторов и т.п.

В 1882 г. из-за конфликта с думой Петунников вместе с

С.М.Третьяковым вышел из состава местного управления. Смысл конфликта состоял в том, что Петунников вместе с Третьяковым и Щепкиным требовал для управы большей самостоятельности в решении сугубо хозяйственных дел, роль думы, считал он, должна ограничиваться вопросами общего руководства. Петунников вернулся в управу в 1886 г. в качестве члена «водопроводной комиссии», из которой вышел уже в 1888 г. из-за несогласия с мнением ее большинства. Последний возврат Петунникова в управу произошел в 1900 г., там он трудился вплоть до выхода на пенсию еще 11 лет.

Тогда же с новой силой возродилась журналистская практика Петунникова. С конца 1870-х годов, сразу же после открытия журнала «Известия Московской городской думы», он начал помещать там статьи по различным вопросам городской жизни. В 1880—1900-х годах Алексей Николаевич выступил в газете «Русские ведомости» с серией статей по городскому хозяйству, сюжеты были ему хорошо знакомы: финансы, водоснабжение, газовое освещение, замощение непроезжих территорий столицы. Положение вне рамок официальной структуры дало ему свободу критики многих мероприятий, проводимых городскими властями.

При рассмотрении многих городских документов и проектов он находил в них следы некомпетентности, непонимания сути дела, неадекватности и в силу этого экономической убыточности с точки зрения далекой перспективы. Петунников упрекал городских деятелей в пренебрежении интересами москвичей. Он находил, что все существующие концессионные договоры (на поставку воды, газа) были составлены в интересах городских чиновников и в ущерб частным лицам, которые платили, например, за газ в 3,5 раза дороже, чем город. Продление концес-

сии с вороватой газовой компанией на выгодных для нее условиях «идет вразрез, — считал Петунников, — с коренными условиями преуспевания городского хозяйства — общности интересов городского управления и городских обывателей», ведь с введением нового контракта москвичи станут платить за газ в четыре раза дороже, чем город [5. С.3].

Статьи Петунникова редко вызывали полемику. Он выступал во всеоружии фактов (часто с цифрами в руках), с ними трудно было спорить. В тех редких случаях, когда ему возражали, он показывал себя остроумным полемистом. Это отразилось, например, к его критике недобросовестно построенных водопроводных башен.

Итогом его многолетней деятельности в управе стал объемный труд «Пути сообщения в Москве» (1915). Здесь подразумевались все незастроенные территории, включая водные артерии. Они были тесно связаны с общей планировкой города и его топографическим планом. С помощью межевого отдела Московской городской управы Петунников провел обмер всех незастроенных участков и сделал оценку занимаемых ими земель. С точки зрения далекой перспективы особенно ценной оказалась историческая часть работы, в которой он опирался на второе издание книги известного археолога и архитектора А.А.Мартынова «Названия московских улиц и переулков с историческими объяснениями».

Будучи постоянно занят далекими от науки делами, Петунников всегда находил время для занятий любимой ботаникой: использовал для флористических наблюдений выходные дни, летние отпуска, служебные командировки. Со слов Вырубова, он совершал свои «ботанические крючки», пользуясь малейшей возможностью и не забывая прихватить при этом «микроскопическую лавочку». Будучи знатоком отечественных и зару-



Г.А.Траутшольд.

бежных ботанических садов и гербариев, Алексей Николаевич общался с коллегами дома и за рубежом, вел постоянную переписку, особенно с немецкими ботаниками.

Под влиянием Кауфмана Петунников в ранние годы тяготел к изучению систематики и морфологии растений. Этому посвящены его первые научные статьи в «Бюллетене МОИП», выступления на заседаниях общества, магистерская диссертация «Метаморфоз клеточной стенки», в которой он использовал микроскопические наблюдения, сделанные в Париже в 1866 г. Основной вывод работы утверждал несводимость явлений органического мира к физико-химическим процессам, мысль в ту пору далеко еще не общепризнанную.

В первых научных опытах Петунников обнаружил задатки серьезного, отвечающего современному уровню естествоиспытателя. Он продемонстрировал хорошее знание отечественной и зарубежной литературы, широко используя современные методы биологических исследований: сравнительно-морфологический и биохимический с применением микроскопа. Тяготея к морфологической тематике, он выказал интерес к сис-

тематике и флористике растений, что стало позднее основным направлением его работ.

С переходом в управу научные публикации Петунникова стали выходить все реже. Его перу принадлежит серия биографических заметок (чаще всего некрологов) о друзьях: Ф.И.Дюмере, Г.Ф.Вобсте, Р.И.Шредере, Ф.А.Теплоухове. Они печатались (за редким исключением) в научно-популярных и общественно-политических изданиях. Алексей Николаевич откликнулся на смерть своего учителя Кауфмана (1870) и добрых знакомых Траутшольда (1902) и Вырובה (1913).

Смерть Кауфмана окончательно направила интересы Петунникова в область флористических исследований. Он находил много недостатков в книге учителя «Московская флора» (1864), на которые указал автору. Кауфман и сам критически относился к своей работе, считая ее далеко не безупречной. При переводе книги на французский язык он намеревался исправить существующие недостатки и пополнить свое сочинение новыми находками московской флоры. За эту работу взялся естествоиспытатель О.Е.Клер. Перевод был готов в 1868 г., и Кауфман успел внести в него многие исправления и дополнения. Клер приложил также к переводу каталог вновь найденных растений московской флоры. По неизвестным причинам в двух номерах «Бюллетеней МОИП» (1870, 1878) была напечатана лишь небольшая часть этой работы. Петунников предполагал использовать перевод Клера и его каталог для второго издания книги Кауфмана, над которым трудился с начала 1880-х годов. При этом он продолжал собственные изыскания по флоре Московской губернии, существенно пополнив гербарный и литературный материал. Но в последнюю минуту Петунников был отстранен от работы. «Московская флора» вышла в 1889 г. под редакцией П.Ф.Мавевского.



О.Е.Клер.

Будучи неудовлетворен вторым изданием, Алексей Николаевич приступил к написанию своей «Флоры», которая виделась ему как продолжение книги Кауфмана. Петунников задумал свой монографический труд в трех частях, предполагая назвать его «Растительность Московской губернии». Он намеревался дать подробное и систематическое описание всех разновидностей московских растений с распределением их по территории губернии. В 1890 г. вышла в свет первая книга — «Иллюстрированное руководство к определению растений...» [6]. Это было добротное, богато иллюстрированное издание. Оно предназначалось для ботаников-любителей, не имеющих систематического образования.

Вторая работа, «Критический обзор Московской флоры», выходила тремя выпусками в периодической печати с 1896 по 1901 г. [7] и в общей сложности насчитывала около 450 страниц. В ней Петунников занялся описанием малоизученных сосудистых растений. Особым достоинством работы специалисты считали историографический очерк — аналитическое описание всех существующих гербариев и сочинений отечественных и иностранных авторов по

московской флоре, начиная с самых ранних и кончая новейшими. Тщательный критический подход, указания на существующие синонимы приближали сочинение Петунникова к задуманной цели, к полному описанию флоры. Но завершить замысел он так и не смог.

Подготовка «Руководства» направила научные труды Петунникова в новое русло. При описании многих растений он столкнулся с неудовлетворительным состоянием русской номенклатуры. По его признанию, он долго бился «с шаткостью и неустановленностью» ботанической терминологии на русском языке и сетовал на то, что «не дал себе труда ближе ознакомиться с русской номенклатурой, нередко очень удачной, хотя и недостаточно разнообразной» [7. С.10—11]. Он начал составлять «Свод терминов русской литературы по ботанике». Эта работа была поддержана IX съездом русских естествоиспытателей и врачей (1894), благодаря ходатайству его участников позднее она была напечатана.

Алексей Николаевич проследил употребление морфологических терминов в русской литературе XIX в., в отечественных и зарубежных словарях и учебниках по ботанике того времени. Он сравнил отечественные термины с терминами наиболее полно разработанных иностранных словарей со всей их синонимикой, расположив русские синонимы в хронологическом порядке в зависимости от времени их появления.

Вообще, в этом справочнике заметна ориентация на ученых-специалистов. В нем отсутствует, например, толкование терминов, зато для удобства работы в качестве исходного языка был выбран латинский. Впечатляет количество терминов — более 3 тыс.

Краткое предисловие к «Своду» Петунников завершил цитатой из М.Максимовича, автора одного из первых русских сочи-

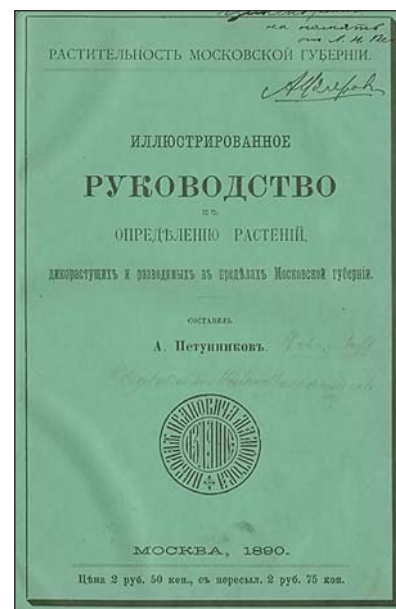
нений по систематике растений. «Словесность для науки, — писал тот, — то же, что образованность для ученого, и для успешного распространения ботаники в России (кроме других условий, от коих сие наиболее зависит) необходимо еще сроднить науку с языком нашим» [8. С.8]. Хорошее владение иностранными языками помогло Петунникову справиться с этой трудной задачей. Русские ботаники получили большое подспорье, а сам автор стал авторитетом в области научного языка и библиографии, что со временем положило начало его серьезному увлечению книжным делом. По оценке известного систематика С.Ю.Липшица, «труд этот сыграл большую роль в стандартизации и унификации отечественной ботанической терминологии» [9].

Последнее десятилетие Петунников плодотворно занимался изучением сложных полиморфных родов и видов растений, которыми интересовался и раньше: ястребинок, лапчаток, осоки, терна и др. Он опубликовал много критических и номенклатурных заметок в «Трудах Ботанического сада Императорского Юрьевского университета», издававшихся под редакцией Н.Н.Кузнецова. Широко сотрудничал с созданным тем Бюро по обмену сухими растениями при Юрьевском университете. Алексей Николаевич посылал свои образцы и вместе с другими профессионалами стал помогать ботаникам-любителям в определении растений, а в сомнительных случаях взял на себя обязательство пересылать их материалы зарубежным коллегам. Тогда же Петунников продолжил работать с различными формами *Potentilla verna* (лапчаток) и рода *Batrachium* (разновидности водяного лютика).

Историки науки единодушно признают личный вклад Петунникова в инициирование исследований флоры Московской губернии. С начала 1880-х годов он возглавлял неформальный кружок любителей-флористов.

В числе его учеников — Д.П.Сырейщиков, П.В.Сюзев, А.А.Хорошков. Никто из них не имел специального образования, но каждый оставил заметный след в ботанике. Высокий профессиональный уровень был достигнут этими самоучками благодаря терпению и усилиям по изучению специальной литературы и иностранных языков (в том числе латыни), а также ботаническим экскурсиям. Петунников много способствовал научному образованию своих молодых товарищей и сумел привить им вкус к изучению флоры Московского региона. Он много путешествовал с ними по ближней Подмоскovie, по различным уездам губернии, обучая их приемам определения растений.

Наиболее известным учеником Петунникова стал Сырейщиков. Не имея возможности самому завершить задуманную флористическую трилогию, Алексей Николаевич передал ему значительную часть гербарного и литературного материала, в том числе диагностические заметки, почти полностью составленную синонимическую ключи для определения растений. Петунников взял на себя редакци-



Труд А.Н.Петунникова, посвященный флоре Московской губернии. 1890 г.



Д.П.Сырейщиков с дочерью.

рование работы Сырейщикова, помогал советами, описал ряд сложных полиморфных родов.

В 1906—1914 гг. в четырех выпусках вышла работа Сырейщикова по московской флоре, снабженная великолепными рисунками самого автора [10]. Этот труд представлял собой наиболее полное описание флоры Московской губернии, когда-либо существовавшее. Автор включил туда все известные виды растений вплоть до самых последних находок. Он привел в соответствии существующие поня-

тия, снабдил свою книгу обстоятельными ключами для определения и обширной синонимикой. Этой работой Сырейщиков обобщил и завершил труды многих предшественников. Его книга вызвала восторженные отклики ботаников. Многие рецензенты отмечали близкое участие в этом издании Петунникова — «лучшего знатока среднерусской флоры» [10. С.49—51]. Сам Алексей Николаевич остался доволен работой ученика. В предисловии к четвертому выпуску он писал: «Такая подробная и всесторон-

няя обработка флоры Московской губернии, как она представлена теперь во вполне законченном для настоящего времени виде, не имеет себе подобной ни в какой другой губернии, в этом отношении Москва может по справедливости гордиться».

Взгляд на работу Сырейщикова как на итоговую сохранился у ряда историков науки советского времени. Впервые упоминание о московских флористах встречаем в статье известного геоботаника В.В.Алехина в связи с празднованием 185-летнего юбилея МГУ. «Критический обзор московской флоры» он рассматривал как прочный фундамент для издания новой «Московской флоры» на еще более высоком научном уровне, имея в виду работу Сырейщикова [11. С.273]. Минувшее столетие принесло свои флористические находки, а главное, новые подходы к изучению флоры. Но и на исходе XX в. академик В.Н.Тихомиров находил «Иллюстрированную флору» непревзойденной по тщательности обработки материала и подчеркнул преемственность работ Петунникова и Сырейщикова, определив их как исключительно ценные, «не имеющие аналогов в отечественной литературе» [12. С.19].

С молодых лет Петунников привык работать в тесном взаимодействии с иностранными коллегами. Формы общения были самые разнообразные. Прежде всего, это личное знакомство с зарубежными учеными во время поездок в Западную Европу, обмен информацией, консультации. Особенно привлекательной для Петунникова была столица Франции, резиденция его душевного друга Вырубова. Там он бывал неоднократно. По свидетельству современников, он посещал Германию, Австрию, Чехию (в ту пору еще в составе Австро-Венгерской империи), Швейцарию. Алексей Николаевич был лично знаком с профессорами А.Энглером, П.Ашерсоном и П.Гребнером из Берлина, К.Цаном из Карлсруэ, Т.Вольфом

из Дрездена, И.Кнукером из Бадена, А.Петером из Геттингена. Алексей Николаевич пользовался консультациями немецких ботаников для определения своего гербарного материала. Они же охотно брались за эту работу, получая в сборах Петунникова ценное подспорье для сравнения и для пополнения собственных монографических обработок отдельных таксонов. Сюэв отмечал частое цитирование книги Петунникова «Критический обзор Московской флоры» (снабженной, заметим, обширным немецким резюме) такими авторитетными учеными, как Энглер (в его капитальной работе «Растительное царство»), Ашерсон и Гребнер (в совместной многотомной монографии «Очерк средневропейской флоры») [13. С.67].

За 50 лет научной деятельности Петунников собрал огромное количество гербарного материала. Его сборы можно обнаружить в травохранилищах разных городов России: в Москве, Петербурге, Екатеринбурге, Ялте. В 1914 г. Петунников продал Ботаническому музею АН свой гербарий московской флоры. Он включал 1111 видов (свыше 6 тыс. номеров). В составе гербария Петунникова находилось

свыше 11 небольших частных коллекций, собранных другими лицами. В настоящее время эта коллекция хранится в составе гербария Ботанического института РАН им.В.Л.Комарова.

Значительное место в судьбе Петунникова занимал МОИП, старейшее в России естественнонаучное общество (1805). Здесь Петунников появился, будучи еще студентом, а в 1865 г. по рекомендации Кауфмана и Ауэрбаха стал его полноправным членом. Особенно много сотрудничал Алексей Николаевич с МОИП в пору секретарства в нем Кауфмана (1867—1870). Тогда он часто выступал с научными сообщениями на заседаниях общества, в 1867—1871 г. был библиотекарем МОИП и входил в его совет. Со свойственной ему энергией Петунников позаботился о комплектовании фондов библиотеки, о размещении новых поступлений, об упорядочении пользования абонементом. Позднее другие дела отвлекли его от активного участия в работе МОИП, но связь с обществом никогда не терялась, его членами были все знакомые и ученики Алексея Николаевича. Петунников часто пользовался «открытыми листами», которые общество оформляло по заявкам своих

членов. В них содержалось предписание губернатора всем местным начальникам содействовать ботаническим изысканиям предьявителей. Лист давал также право на свободное перемещение в пределах губернии — факт немаловажный ввиду особой подозрительности русской полиции. В 1908 г. общество избрало Петунникова своим почетным членом, а в 1915 отметило 50-летие публикации его первой научной статьи в «Бюллетене МОИП».

Скончался Алексей Николаевич 20 декабря 1919 г. На заседании МОИП 25 декабря президент М.А.Мензбир сообщил об этом прискорбном событии. На смерть ученого отозвались его друзья из Русского библиографического общества при Московском университете (в 1889 г. он стал одним из его учредителей). Анонимный автор некролога указал на одну характерную особенность Петунникова: следуя охватившему его «библиографическому экстазу», он часто вставал в три часа ночи, чтобы «вырвать у природы нужное ему время». С таким же энтузиазмом он занимался и ботаникой, и делами благоустройства города, демонстрируя при этом потрясающую работоспособность. ■

Литература

1. Научная библиотека МГУ. Отдел редких книг и рукописей. Ф.12 (Г.Н.Вырубова). Карт.1. Д.6. №55, 71.
2. *Герасимович Б.П.* Некролог А.А.Белопольского // *Астрономический журнал*. 1934. №11.
3. *Петунников А.Н.* Пестролистные растения // *Природа*. 1874. Кн.4.
4. От редакторов // *Природа*. 1873. Кн.1.
5. *Петунников А.Н.* Газовое дело Москвы // *Русские ведомости*. 1883. №161.
6. *Петунников А.Н.* Растительность Московской губернии: Иллюстрированное руководство к определению растений, дикорастущих и разводимых в пределах Московской губернии. М., 1890.
7. *Петунников А.Н.* Критический обзор Московской флоры. Ч.1: *Dialypetalae* // *Бот. записки*. 1896. Т.6. Вып.13; Ч.2: *Gamopetalae* // *Тр. СПб. об-ва естествоиспытателей*. 1900. Т.30. Вып.3. Отд. бот.
8. *Петунников А.* Свод ботанических терминов, встречающихся в русской ботанической литературе. Издание IX съезда русских естествоиспытателей и врачей. 2-е изд. М.; Юрьев, 1912.
9. *Литвищ С.Ю.* Московские ботаники Д.П.Сырейщиков (1868—1932) и А.Н.Петунников (1842—1919) // *Бюлл. МОИП*. 1968. Новая серия. Отдел биологический. Т.73. Вып.4. С.20—22.
10. *Сырейщиков Д.П.* Иллюстрированная флора Московской губернии / Под ред. Петунникова. Ч.1—4. М., 1906—1914.
11. *Алехин В.В.* Флористика и систематика растений, ботаническая география и фитоценология в Московском университете // *Ученые записки Московского университета*. 1940. Вып.54.
12. А.Н.Петунников († 20 декабря 1919) // *Библиографические известия*. 1920. Т.8. №1—2.
13. *Сюэв П.В.* Петунников как ботаник // *Труды Ботанического сада Юрьевского университета*. 1912. Т.13. Вып.1. С.64—69.

Автор «Черной курицы» Антоний Погорельский

А.П.Садчиков,

доктор биологических наук

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

В 1805 г. было организовано Московское общество испытателей природы (МОИП), которое функционирует и поныне*. За всю 200-летнюю историю оно никогда не прерывало своей деятельности и связи с Московским университетом. Среди учредителей МОИП наряду с крупными учеными был студент первого курса Алексей Перовский — любитель естествознания и будущий писатель.

Алексей Алексеевич Перовский был внебрачным сыном графа А.К.Разумовского, который впоследствии стал президентом МОИП (1805—1817). Перовский родился в селе Перово (отсюда и фамилия) Черниговской губернии. У Разумовского было пять сыновей и четыре дочери, из которых трое (Василий, Алексей и Лев) окончили Московский университет. Все дети графа носили фамилию Перовские. Они стали крупными государственными деятелями, военными, дипломатами, участвовали в Отечественной войне 1812—1814 гг. Известная революционерка, террористка, Софья Перовская, принимавшая участие в покушении на Александра II, приходилась правнучкой Разумовскому и дочерью Петербургскому губернатору Л.Н.Перовскому.

Алексей Перовский получил хорошее домашнее образование и в 1805 г. поступил в Московский университет, который успешно окончил в 1807 г., полу-

чив степень доктора философии и словесных наук. На основании §102 Университетского устава для получения этой степени выпускник должен был прочитать три лекции — на немецком, французском и русском языках. Перовский в студенческие годы увлекался естествознанием, и его лекции имели непосредственное отношение к ботанике: «Как различать животных от растений и какое их отношение к минералам» (на немецком), «О цели и пользе Линнеевой системы растений» (на французском), «О растениях, которые бы полезно было размножать в России» (соответственно, на русском). В 1808 г. они были изданы отдельной брошюрой. Впоследствии Перовского избрали почетным членом МОИП и членом Петербургской Академии наук (1829).

Во время Войны 1812 года**, увлеченный общим патриотизмом и вопреки воле отца, он поступил на военную службу, и в чине штаб-ротмистра 3-го Украинского казачьего полка принимал участие в партизанских действиях и главных сражениях 1812—1813 гг. (под Тарутином, Лосецами, Дрезденом, Лейпцигом и при Кульме). Алексей Алексеевич прошел типичный для передового русского офицерства боевой путь, освобождал Россию и Европу от наполеоновских войск, разделял со своими товарищами тяготы воинской службы. При этом про-



А.А.Перовский.

явил незаурядную отвагу и храбрость. Некоторое время оставался в Дрездене в качестве адъютанта при генерал-губернаторе Саксонии Н.Г.Репнине-Волконском. Награжден орденом Святого Владимира 4-й степени, орденом Святой Анны 2-й степени.

В мае 1814 г. Перовского перевели в лейб-гвардии Уланский полк, стоявший в Дрездене. Здесь он находился около двух лет, в течение которых смог близко познакомиться с творчеством Э.Т.А.Гофмана, оказавшего на него сильное влияние. В своих повестях Алексей Алексеевич использовал традиции замечательного немецкого романтика.

Его брат Василий Алексеевич принимал непосредственное участие в Бородинском сражении, попал в плен, где находился до конца войны. Впоследст-

* <http://www.moipros.ru>

** См.: Садчиков А.П. МОИП и Бородинское сражение // Природа. 2011. №1. С.94—96.

вии стал генералом от кавалерии и губернатором Оренбурга. Другой брат, Лев Алексеевич, был ранен, из-за чего ему пришлось оставить военную службу. Впоследствии он стал министром внутренних дел, руководил археологическими раскопками, собрал большую коллекцию греческих древностей, русского серебра, монет и медалей. Все это было передано в Государственный Эрмитаж.

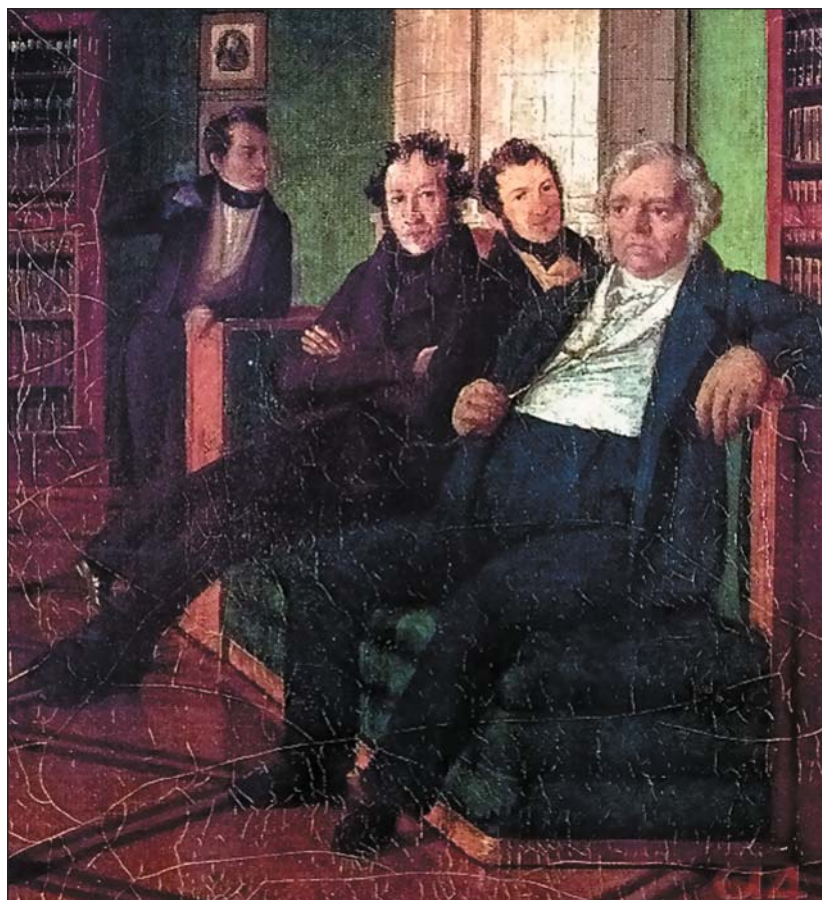
С 1816 г. в течение нескольких лет Перовский был на гражданской государственной службе: чиновником особых поручений при департаменте духовных дел. После войны он начинает пробовать писать литературные произведения под псевдонимом Антоний Погорельский.

В 1822 г., после смерти отца, Алексей Перовский унаследовал село Погорельцы Черниговской губернии (отсюда его псевдоним) и, выйдя в отставку, посвятил все свободное время литературному труду. Как писатель он был очень популярен в начале XIX в.

Перовский дружил с А.С.Пушкиным, В.А.Жуковским, И.А.Крыловым, П.А.Вяземским, П.А.Плетневым, А.Мицкевичем. Они часто устраивали совместные вечеринки. На картине «Субботнее собрание у В.А.Жуковского» изображены Пушкин, Гоголь, Перовский, Кольцов и др.

Знакомство с Пушкиным (1816—1820) перешло затем в дружбу и литературное сотрудничество. Перовскому принадлежат две статьи в защиту «Руслана и Людмилы» от нападок критиков. Пушкин в 1828 г. читал у него на квартире «Бориса Годунова». Александр Сергеевич был хорошо знаком с литературными произведениями Перовского и называл некоторые из них «прелестью».

Самым известным произведением Погорельского стала повесть «Лафертовская маковница» (1825). Критики называли ее «первой фантастической повестью России». Пушкин написал брату из Михайловского 27 мар-



«Субботнее собрание у В.А.Жуковского». 1834—1836 гг. Худож. А.И.Мокрицкий, Г.К.Михайлов и др.

та 1825 г., говоря об одном из «героев» этого произведения: *«Душа моя, что за прелесть бабушкин кот! Я перечел два раза и одним духом всю повесть, теперь только и брежу Мурлыкиным. Выступаю плавно, зажмурия глаза, повертывая голову и выгибая спину. Погорельский ведь Перовский, не правда ли?»*

В 1830—1833 гг. выходит роман «Монастырка», который Вяземский назвал «настоящим и, вероятно, первым у нас романом нравов».

Для современного читателя имя Антония Погорельского прежде всего связано со сказочной повестью «Черная курица, или Подземные жители, волшебная сказка для детей» (1829), рассказывающей о воображаемых приключениях мальчика Алеши в подполе его собственного дома. Главная идея сказки-притчи

остается актуальна и в настоящее время. Герой сказки Алеша пожелал: «Не учившись, всегда знать урок. И даже тот, который мне не задавали». И сейчас найдется много детей, кто не отказался бы получить восторженные похвалы от учителей «за феноменальные знания».

Эта повесть, которая переиздается и сейчас, стала первой русской авторской сказкой в прозе для детей. «Черную курицу» Погорельский написал для своего десятилетнего племянника Алеши, впоследствии известного русского поэта и писателя Алексея Константиновича Толстого.

Будучи уже известным литератором, Перовский продолжал принимать активное участие в деятельности МОИП. Тогда же его избрали в члены Российской академии наук. ■

Тематический указатель за 2012 год

ИСТОРИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ НАУКИ

- Альфред Вегенер и его экспедиции в Гренландию.
К 100-летию теории дрейфа материков.
- Талалай П.Г.** 11 51
- Борьба за создание Института цитологии и генетики
в 1940-х годах. **Жебрак Э.А., Солнцева М.П.** 4 78
- Ганс, Тур и современная наука. **Пухальский А.Л.** 4 54
- Жизнь, отданная науке. К 120-летию со дня рождения
А.С.Серебровского. **Романов М.Н., Авруцкая Т.Б.,
Моисеева И.Г.** 2 63
- К юбилею учителя. 125 лет со дня рождения
А.В.Шубникова. **Фридкин В.М.** 7 80
- ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 2011 ГОДА** 1 108
- По физике — С.Перлматтер, Б.Шмидт и А.Райс.
Липунов В.М., Чернин А.Д. 1 108
- По химии — Д.Шехтман. **Аронин А.С.** 1 112
- По физиологии или медицине — Ж.Хоффманн,
Б.Бойтлер и Р.Штайнман. **Недоспасов С.А.** 1 114
- Маркел Вильгельмович Ненцкий.
Голиков Ю.П., Дыбовский А.П. 7 72
- «НАУКА ИНТЕРНАЦИОНАЛЬНА, ЭТО ЕЕ ОСНОВА»**
- К 125-летию со дня рождения Н.И.Вавилова
Последние годы Н.И.Вавилова. **Вавилов Ю.Н.,
Раменская М.Е., Стуков В.И.** 11 66
- Письма Н.И.Вавилова — Н.П.Макарову.
Авруцкая Т.Б. 11 74
- Необычный юбилей в Музее-квартире академика
И.П.Павлова. **Космачевская Э.А., Громова Л.И.** 9 77
- О природе «Природы»¹
- «Песочное золото» в России: путешествие
Матвея Снегирева в 1790 году. **Бурштейн Е.Ф.** 6 67
- Роль русских ученых в открытии дифракции
рентгеновских лучей кристаллами. **Урусов В.С.** 1 96
- УСТРЕМЛЕННЫЙ В БУДУЩЕЕ**
- К 140-летию со дня рождения
Николая Константиновича Кольцова 10 4
- Родоначальник исследований цитоскелета.
Васильев Ю.М. 10 14
- Цитоскелет — современный взгляд
на архитектуру клетки. **Алиева И.Б.,
Узбеков Р.Э.** 10 16
- Организация хромосом: 70 лет спустя.
Рубцов Н.Б. 10 24
- Новые возможности химического мутагенеза.
Ежова Т.А., Широкова А.В. 10 32
- Химические мутагены и генетическая
токсикология. **Абилев С.К.** 10 39
- Микроэкскурс в макроэволюцию. **Галл Я.М.** 10 47
- Становление генетики человека.
Голубовский М.Д. 10 53
- Генеалогия Ч.Дарвина и Ф.Гальтона.
Кольцов Н.К. 10 64
- У истоков интеллектуальных династий.
Голубовский М.Д. 10 70
- Жизнь после жизни. **Раменский Е.В.** 10 73
- Доктор Николай К.Кольцов. 1871—1940².
Бородин Д.Н. 10 74
- Единомыслие. Воспоминания А.А.Замкова,
Д.П.Филатова, В.В.Алехина. 10 76
- Несостоявшийся в СССР VII генетический
конгресс. **Авруцкая Т.Б.** 10 79
- Работа в области генетики Института
экспериментальной биологии в Москве.
Кольцов Н.К. 10 80
- Полет над Парижем. **Авруцкая Т.Б.** 10 93
- Эрвин Шрёдингер: яркая вспышка гения.
К 125-летию со дня рождения великого ученого.
Щербаков Р.Н. 6 74
- АСТРОНОМИЯ. КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**
- Антарктический нейтринный телескоп
уточняет гипотезы астрофизиков 8 72
- Золотой век космологии. **Черепашук А.М.,
Чернин А.Д.** 1 11
- Космическая линза работает в телескопе.
Ашимбаева Н.Т. 6 57
- Луна: исследование и освоение (вчера, сегодня,
завтра, послезавтра). **Зеленый Л.М., Хартов В.В.,
Митрофанов И.Г., Долгополов В.П.** 1 23
- МАТЕМАТИКА. ИНФОРМАТИКА**
- Вулканомеханика. **Бармин А.А., Гордеев Е.И.,
Мельник О.Э.** 12 34
- ФИЗИКА. ТЕХНИКА. ЭНЕРГЕТИКА**
- Горы Гамбурцева — хребет, который никто
никогда не видел. **Талалай П.Г., Марков А.Н.** 2 29

¹ Публикация подготовлена О.О.Астаховой и О.И.Шутовой.

² Перевод и комментарии Е.В.Раменского.

Кристаллы нового поколения (фотонные и другие «онные»). Никитов С.А.	1	51	БОТАНИКА. ЗООЛОГИЯ. МИКРОБИОЛОГИЯ	Голубые ракушки. Стрелков П.П., Хайтов В.М., Католикова М.В.	6	51
Международный эксперимент CLOUD: частицы и облака. Махмутов В.С., Стожков Ю.И.	12	27	Дроздовые: известные и неизвестные. Колбин В.А.	4	59	
Нейтронная геофизика — первые шаги. Скорохватов М.Д.	3	13	Запасливые полевки. Докучаев Н.Е.	8	63	
Нейтронная физика: год угла смешивания θ_{13} . Куденко Ю.Г.	11	3	Микробиология как центральная биологическая дисциплина. Заварзин Г.А.	1	100	
Нейтронграфия: задачи и способы решения. Балагуров А.М.	7	14	Не холодно ли углозубу на вечной мерзлоте? Берман Д.И., Алфимов А.В.	3	34	
Новые имена на карте элементов. Щеголев В.А.	8	3	Орлан-белохвост регулирует численность чайки-хохотуни. Грищенко В.Н., Яблоновская-Грищенко Е.Д.	7	43	
Предупредить аварию: это носится в воздухе. Александров П.А., Калечиц В.И., Сотсков В.П.	9	3	Трансмиссивные клоны злокачественных клеток. Белицкий Г.А., Якубовская М.Г.	12	15	
Радужный танец дождевых капель. Стерлядкин В.В.	5	20	ГЕНЕТИКА. МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ. БИОХИМИЯ. БИОФИЗИКА. БИОТЕХНОЛОГИЯ			
Стоячие рентгеновские волны и биологическое материаловедение. Ковальчук М.В., Новикова Н.Н., Якунин С.Н.	12	3	Арктика глазами биолога. Чернов Ю.И.	2	47	
Цвет броуновского движения. Белушкин М.А., Фоффи Дж.	8	17	Взлет и падение Y-хромосомы. Бородин П.М., Башева Е.А., Голенищев Ф.Н.	1	45	
Экстремальный свет ускоряет ионы. Быченков В.Ю.	2	3	Витамин D и все, все, все. Козлов А.И.	3	18	
ХИМИЯ			Газель и адамово яблоко. Володин И.А., Володина Е.В., Фрай Р., Солдатова Н.В., Юлдашев Э.Т.	4	44	
Жидкие кристаллы — «кентавры» природы. Шibaев В.П.	1	61	Генеалогия Ч.Дарвина и Ф.Гальтона. Кольцов Н.К.	10	64	
Как строить ажурные каркасы. Левицкий М.М., Биляченко А.Н., Дронова М.С.	2	39	У истоков интеллектуальных династий. Голубовский М.Д.	10	70	
Люминесцентные комплексы лантанидов. Белоусов Ю.А., Дроздов А.А.	8	39	Горный Алтай — место взрывной эволюции В-хромосом. Борисов Ю.М.	5	10	
Невозможные реальные кристаллы. Левицкий М.М., Перекалин Д.С.	9	58	Землеройка-барабанщик. Володин И.А., Ильченко О.Г., Володина Е.В., Зайцева А.С., Чеботарева А.Л.	7	50	
Новые формы углерода, открывшие эру нанохимии. Соколов В.И.	3	28	Избыточный вес и ожирение: возможная коррекция. Хиразова Е.Э., Маслова М.В., Соколова Н.А.	2	12	
Полимерные кентавры. Шibaев В.П.	6	12	«Ископаемая» ДНК в современных геномах. Захаров-Гезехус И.А.	3	23	
Солнечные батареи, сенсibilизированные красителем. Беззубов С.И., Долженко В.Д.	6	45	Как предсказать неизвестную структуру белка. Попинако А.В., Соколова О.С.	7	33	
БИОЛОГИЯ			Клетка: координация молекулярных процессов деления. Атауллаханов Ф.И., Грищук Е.Л.	1	37	
Арктика глазами биолога. Чернов Ю.И.	2	47	Корольковая пеночка — маленький гений большого вокала. Иваницкий В.В., Марова И.М.	6	37	
Будущее России — в согласии по времени с природой ³	7	64	Липидный фундамент жизни. Чугунов А.О., Полянский А.А., Ефремов Р.Г.	3	3	
По поводу нового исчисления времени. Ковальзон В.М., Дорохов В.Б.	7	65	Лошади Чингисхана. Захаров И.А.	7	68	
Газель и адамово яблоко. Володин И.А., Володина Е.В., Фрай Р., Солдатова Н.В., Юлдашев Э.Т.	4	44	Многоликий кальций. Балезина О.П.	9	14	
Землеройка-барабанщик. Володин И.А., Ильченко О.Г., Володина Е.В., Зайцева А.С., Чеботарева А.Л.	7	50	Муковисцидоз: удар судьбы или послание Свыше? Пухальский А.Л., Шмарина Г.В.	6	3	
Корольковая пеночка — маленький гений большого вокала. Иваницкий В.В., Марова И.М.	6	37	Нейротрофины: терапевтический потенциал. Гомазков О.А.	5	62	
Микроэкскурс в макроэволюцию. Галл Я.М.	10	47	Никотин и его рецепторы — о вредном и полезном. Цетлин В.И., Кашеверов И.Е.	4	23	
Простой путь к сложности	8	73	Новые возможности химического мутагенеза. Ежова Т.А., Широкова А.В.	10	32	
Стоячие рентгеновские волны и биологическое материаловедение. Ковальчук М.В., Новикова Н.Н., Якунин С.Н.	12	3	Новый уровень пространственной организации хромосом	8	75	
			Организация хромосом: 70 лет спустя. Рубцов Н.Б.	10	24	
			Простой путь к сложности	8	73	
			Родоначалник исследований цитоскелета. Васильев Ю.М.	10	14	

³ Обращение В.П.Апрелева.

Серотонин и шизофрения. Голимбет В.Е., Алфимова М.В.	8	34	Метавиванит или метаферроштрунцит? Расцветаева Р.К.	12	70
Становление генетики человека.			Нанократия, или 20 лет спустя.		
Голубовский М.Д.	10	53	К 120-летию со дня рождения академика Н.В.Белова.		
Химические мутагены и генетическая токсикология.			Расцветаева Р.К.	4	68
Абилев С.К.	10	39	Родезит или гюнтерблассит? Расцветаева Р.К.	3	46
Цитоскелет — современный взгляд			Роль русских ученых в открытии дифракции		
на архитектуру клетки. Алиева И.Б., Узбеков Р.Э.	10	16	рентгеновских лучей кристаллами. Урусов В.С.	1	96
Чьи у человека центриоли? Алиева И.Б., Узбеков Р.Э.	5	36	Физико-химическая динамика		
			магматического процесса. Ярошевский А.А.	1	71
ФИЗИОЛОГИЯ. ПСИХОЛОГИЯ. МЕДИЦИНА. ДЕМОГРАФИЯ. СОЦИОЛОГИЯ			ГЕОФИЗИКА		
Борьба со старостью: надежда на разум.			Оптика Байкала. Буднев Н.М.	4	11
Аннисинов В.Н.	1	88	СЕЙСМОЛОГИЯ. ВУЛКАНОЛОГИЯ		
Вклад космической медицины в здравоохранение.			Вулканомеханика. Бармин А.А., Гордеев Е.И., Мельник О.Э.	12	34
Григорьев А.И.	1	30	Первый русский вулканолог — В.А.Петрушевский.		
Муковисцидоз: удар судьбы или послание Свыше?			Белоусов А.Б., Белоусова М.Г.	8	80
Пухальский А.Л., Шмарина Г.В.	6	3	Прогноз Великого Японского землетрясения.		
Серотонин и шизофрения. Голимбет В.Е., Алфимова М.В.	8	34	Любушин А.А.	8	23
Экспериментальная электрофизиология сердца			Тропую лешего. Николаева С.Б.	7	26
в создании новых препаратов. Розенштраух Л.В.	8	10	Ялтинское землетрясение XV века. Никонов А.А.	11	24
ЭКОЛОГИЯ. ОХРАНА ПРИРОДЫ. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ			ГЕОГРАФИЯ. КЛИМАТОЛОГИЯ. МЕТЕОРОЛОГИЯ. ГЛЯЦИОЛОГИЯ		
Об исчезнувших тиграх Хехцира. Ткаченко К.Н.	2	57	Альфред Вегенер и его экспедиции в Гренландию.		
Птицы в большом городе: как сохранить их разнообразие в лесопарках Москвы?			К 100-летию теории дрейфа материков. Талалай П.Г.	11	51
Морозов Н.С.	5	49	Арктика глазами биолога. Чернов Ю.И.	2	47
Хрупкое равновесие Анапской пересыпи.			Вскрытие озера Восток: шаг вперед — два шага назад? Талалай П.Г.	7	3
Косьян Р.Д., Крыленко В.В., Куклев С.Б.	2	19	Геологические загадки иранского побережья Каспия.		
ГЕОЛОГИЯ. ГЕОТЕКТОНИКА			Свиточ А.А., Бадюкова Е.Н., Шейхи Б.	6	60
«Была бы прочна палатка...». Ко дню геолога.			Горы Гамбурцева — хребет, который никто никогда не видел. Талалай П.Г., Марков А.Н.	2	29
Конюшенко Г.Ф.	4	64	История климата Земли по данным глубокого бурения в Антарктиде. Котляков В.М.	5	3
Геологические аспекты строительства дольменов Кавказа. Шариков Ю.Н., Якобсон К.Э., Комиссар О.Н.	9	49	Какую воду пьют жители юга России?		
Геология и мифотворчество. Холодов В.Н.	6	25	Четверикова А.В.	4	39
Карстовые пещеры Чатыр-Дага. Комаров В.Н.	6	63	Малый ледниковый период был вызван вулканами?	8	75
Кимберлиты — мантийные флюидизиты.			Наледи поднебесья. Горбунов А.П., Горбунова И.А.	3	50
Портнов А.М.	12	42	Основная карта России. Верещака Т.В.	9	32
«Куринные боги» брахиопод. Комаров В.Н., Дирксен Е.О., Рузаева И.Н.	12	74	От местного климата к глобальному. Бялко А.В.	9	69
«Песочное золото» в России: путешествие Матвея Снегирева в 1790 году. Бурштейн Е.Ф.	6	67	Синайская пустыня и древний Пелусий.		
Рудный гигант в ледниковой польне. Портнов А.М.	5	43	Чичагов В.П.	11	35
Современные проблемы водного треугольника: Россия—Китай—Казахстан. Джамалов Р.Г., Хасиев Р.С.	4	3	Тропические циклоны: новые идеи. Ингель Л.Х., Петрова Л.И.	5	27
Хромиты — руда, рожденная в мантии Земли.			ОКЕАНОЛОГИЯ		
Савельева Г.Н., Белокрыс А.М.	11	14	Глубоководные погружения в Марианскую впадину.		
Хрупкое равновесие Анапской пересыпи.			Сагалевич А.М.	11	43
Косьян Р.Д., Крыленко В.В., Куклев С.Б.	2	19	Моя первая экспедиция. Пастернак Р.К.	8	54
ГЕОХИМИЯ. МИНЕРАЛОГИЯ. КРИСТАЛЛОХИМИЯ			Пути проникновения склерактиний		
Лорд Кельвин, пивная пена, «ячейки Коксетера», и лавинная опасность. Войтеховский Ю.Л.	7	39	в глубины океана. Келлер Н.Б.	11	57
			Феномен симметрии дна океана. Ильин А.В.	9	22
ГЕОХИМИЯ. МИНЕРАЛОГИЯ. КРИСТАЛЛОХИМИЯ			ПАЛЕОНТОЛОГИЯ. ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ		
Лорд Кельвин, пивная пена, «ячейки Коксетера», и лавинная опасность. Войтеховский Ю.Л.	7	39	Арал умер. Да здравствует Арал! Кривоногов С.К.	8	46
			Как одна экологическая ниша два рода прокормила.		
			Наугольных С.В.	4	31

Когда жизнь и не думала умирать. Расницын А.П.	9	39
Кулинда — первое в России местонахождение позднелюрских динозавров. Алифанов В.Р.	3	53
Символ Гондваны. Наугольных С.В.	12	49
Становление современной ландшафтной оболочки Земли. Величко А.А.	1	78
Уникальные палеонтологические территории и объекты. Князев Ю.П.	7	57

АРХЕОЛОГИЯ. АНТРОПОЛОГИЯ. ЭТНОГРАФИЯ

Геологические аспекты строительства дольменов Кавказа. Шариков Ю.Н., Якобсон К.Э., Комиссар О.Н.	9	49
Новая надпись домонгольской эпохи с городища Ростиславль. Медынцева А.А., Коваль В.Ю.	5	71

АПРЕЛЬСКИЙ ФАКУЛЬТАТИВ

Нанократия, или 20 лет спустя. К 120-летию со дня рождения академика Н.В.Белова. Расцветаева Р.К.	4	68
«Употреблять вместе с деревом». Из научных трактатов	4	77

БИОГРАФИЯ СОВРЕМЕННОГО

«Заповедного не тронь!». Ф.Р.Штильмарк: штрихи к биографии. Носкова Н.К.	5	74
Непрямые истины Линн Маргулис. Фет В.	8	67

В КОНЦЕ НОМЕРА

Автор «Черной курицы» Антоний Погорельский. Садчиков А.П.	12	88
Первооткрывательница отечественных коренных алмазов Лариса Попугаева. Трейвус Е.Б.	9	90
Подвиг в арктических широтах. Глушков В.В.	5	90
Полет над Парижем. Авруцкая Т.Б.	10	93
Попугай, который жил с пингвинами. Потапов Р.Л.	11	89
Поселок Борок и его музеи. Чесноков В.С.	8	90
Ранние каталоги двойных звезд. Кузьмин А.В.	6	93
Ускользающая птица: история кеклика в Крыму. Цвельх А.Н.	3	75
Экзотика кораллового рифа на банкнотах. Майзингер Р.	7	93

ВЕСТИ ИЗ ЭКСПЕДИЦИЙ

«Была бы прочна палатка...». Ко дню геолога. Конюшенко Г.Ф.	4	64
Моя первая экспедиция. Пастернак Р.К.	8	54
Новая надпись домонгольской эпохи с городища Ростиславль. Медынцева А.А., Коваль В.Ю.	5	71
Паляваам. Берман Д.И.	12	60

ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ

Забывший основатель биохимии и сомнологии. Ковальзон В.М.	5	85
Мой первый учитель. Воспоминания об Александре Васильевиче Фурсенко. Пушаровский Ю.М.	3	70
Московский ботаник А.Н.Петунников. Любина Г.И.	12	80
Незабытое имя в российской герпетологии. К 125-летию со дня рождения С.Ф.Царевского. Ананьева Н.Б., Доронин И.В.	6	86

Первый русский вулканолог — В.А.Петрушевский. Белоусов А.Б., Белоусова М.Г.	8	80
Премия ее памяти. К биографии Е.К.Фреймут-Кандинской. Валькова О.А.	4	91
Путь в геологии. Баскина В.А.	2	75

ЗАМЕТКИ И НАБЛЮДЕНИЯ

Геологические загадки иранского побережья Каспия. Свиточ А.А., Бадюкова Е.Н., Шейхи Б.	6	60
Дроздовые: известные и неизвестные. Колбин В.А.	4	59
Запасливые полевки. Докучаев Н.Е.	8	63
Карстовые пещеры Чатыр-Дага. Комаров В.Н.	6	63
Лошади Чингисхана. Захаров И.А.	7	68
Наледи поднебесья. Горбунов А.П., Горбунова И.А.	3	50
Об исчезнувших тиграх Хехцира. Ткаченко К.Н.	2	57

ЛЕКТОРИЙ

Нейротрофины: терапевтический потенциал. Гомазков О.А.	5	62
От местного климата к глобальному. Бялко А.В.	9	69

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

Будущее России — в согласии по времени с природой! ³	7	64
По поводу нового исчисления времени. Ковальзон В.М., Дорохов В.Б.	7	65
Космическая линза работает в телескопе. Ашимбаева Н.Т.	6	57
Кулинда — первое в России местонахождение позднелюрских динозавров. Алифанов В.Р.	3	53
«Куриные боги» брахиопод. Комаров В.Н., Дирксен Е.О., Рузаева И.Н.	12	74
Метавиванит или метаферроштрунцит? Расцветаева Р.К.	12	70
Пути проникновения склерактиний в глубины океана. Келлер Н.Б.	11	57

НОВОСТИ НАУКИ

Антарктический нейтринный телескоп уточняет гипотезы астрофизиков	8	72
Малый ледниковый период был вызван вулканами? Новый уровень пространственной организации хромосом	8	75
Простой путь к сложности	8	73

НОВЫЕ КНИГИ

2 74; 3 69; 4 90; 5 84; 6 85; 7 91; 8 79; 9 89; 11 87; 12 76

О ЧЕМ ПИСАЛА «ПРИРОДА»

Последние успехи в физике. Боргман И.И.	1	118
Future in the past. Смондырев М.А.	1	123

РЕЦЕНЗИИ

Арктика в судьбе О.Ю.Шмидта (на кн.: В.С.Корякин. Отто Шмидт). Бурлаков Ю.К.	12	77
Аэрофоторазведка как предтеча аэрофототопографии (на кн.: Л.М.Матиясевич. Аэрофоторазведка. Прошлое — настоящее — будущее). Глушков В.В.	11	84

Внутривидовая коммуникация: от суслика до человека (на кн.: С.А.Бурлак. Происхождение языка: факты, исследования, гипотезы). Казанцева А.А.	4	87	РЕДКИЙ ДАР – ВО ВСЕМ ВИДЕТЬ ХОРОШЕЕ		
Медлить с профилактикой нельзя (на кн.: Дж.Смит. Псевдонаука и паранормальные явления: критический взгляд). Журавлев А.Ю.	4	89	К 100-летию А.А.Ляпунова	3	55
Неведомое царство паразитов (на кн.: К.Циммер. Паразиты: тайный мир). Чудов С.В.	7	86	Недосягаемо высок (на кн.: Н.Н.Воронцов. Алексей Андреевич Ляпунов). Тихомиров В.М.	3	55
Почему Вселенная темная? (на кн.: В.П.Решетников. Почему небо темное. Как устроена Вселенная). Сурдин В.Г.	9	86	Учитель в профессии и в жизни (на кн.: Алексей Андреевич Ляпунов. 100 лет со дня рождения). Демидов С.С.	3	57
Ради новых знаний (на кн.: К.Тёрни. Кости, скалы и звезды: наука о том, когда что произошло). Сурдин В.Г.	6	83	А.А.Ляпунов и полтора века интеллектуальной династии. Размышление о книге Н.Н.Воронцова. Голубовский М.Д.	3	60
Разгаданная «тайна» академика Королева (на кн.: Н.С.Королева. С.П.Королев: Отец. К 100-летию со дня рождения). Губарев В.С.	8	77	Сага о БАКе (на кн.: П.Хэлперн. Коллайдер). Сурдин В.Г.	2	71
			Физики о будущем: альтернативы (на кн.: М.Каку. Физика будущего). Бялко А.В.	5	80
			Чтобы помнили (на кн.: Е.В.Раменский. Николай Кольцов. Биолог, обогнавший время). Белянова Л.П.	10	91

Авторский указатель за 2012 год

А билев С.К.	10	39	(Гордеев Е.И., Мельник О.Э.)	12	34	В авилов Ю.Н.		
Авруцкая Т.Б.	10	79	Баскина В.А.	2	75	(Раменская М.Е., Стуков В.И.)	11	66
	10	93	Башева Е.А.			Валькова О.А.	4	91
	11	74	(Бородин П.М., Голенищев Ф.Н.)	1	45	Васильев Ю.М.	10	14
Авруцкая Т.Б.			Беззубов С.И. (Долженко В.Д.)	6	45	Величко А.А.	1	78
(Романов М.Н., Моисеева И.Г.)*	2	63	Белицкий Г.А. (Якубовская М.Г.)	12	15	Верещака Т.В.	9	32
Александров П.А. (Калечиц В.И., Сотсков В.П.)	9	3	Белокрыс А.М. (Савельева Г.Н.)	11	14	Войтеховский Ю.Л.	7	39
Алиева И.Б. (Узбеков Р.Э.)	5	36	Белоусов А.Б. (Белоусова М.Г.)	8	80	Володин И.А.		
	10	16	Белоусов Ю.А. (Дроздов А.А.)	8	39	(Володина Е.В., Фрай Р., Солдатова Н.В., Юлдашев Э.Т.)	4	44
Алифанов В.Р.	3	53	Белоусова М.Г. (Белоусов А.Б.)	8	80	Володин И.А. (Ильченко О.Г., Володина Е.В., Зайцева А.С., Чеботарева А.Л.)	7	50
Алфимов А.В. (Берман Д.И.)	3	34	Белушкин М.А. (Фоффи Дж.)	8	17	Володина Е.В. (Володин И.А., Ильченко О.Г., Зайцева А.С., Чеботарева А.Л.)	7	50
Алфимова М.В. (Голимбет В.Е.)	8	34	Белянова Л.П.	10	91	Володина Е.В. (Володин И.А., Ильченко О.Г., Зайцева А.С., Чеботарева А.Л.)	7	50
Ананьева Н.Б. (Доронин И.В.)	6	86	Берман Д.И. (Алфимов А.В.)	3	34	Володина Е.В. (Володин И.А., Ильченко О.Г., Зайцева А.С., Чеботарева А.Л.)	7	50
Анисимов В.Н.	1	88	Берман Д.И.	12	60	Володина Е.В. (Володин И.А., Ильченко О.Г., Зайцева А.С., Чеботарева А.Л.)	7	50
Аронин А.С.	1	112	Биляченко А.Н. (Левицкий М.М., Дронова М.С.)	2	39	Володина Е.В. (Володин И.А., Фрай Р., Солдатова Н.В., Юлдашев Э.Т.)	4	44
Атауллаханов Ф.И. (Грищук Е.Л.)	1	37	Боргман И.И.	1	118	Г алл Я.М.	10	47
Ашимбаева Н.Т.	6	57	Борисов Ю.М.	5	10	Глушков В.В.	5	90
			Бородин Д.Н.	10	74		11	84
Б адюкова Е.Н.			Бородин П.М.			Голенищев Ф.Н.		
(Свиточ А.А., Шейхи Б.)	6	60	(Башева Е.А., Голенищев Ф.Н.)	1	45	(Бородин П.М., Башева Е.А.)	1	45
Балагуров А.М.	7	14	Буднев Н.М.	4	11	Голиков Ю.П. (Дыбовский А.П.)	7	72
Балезина О.П.	9	14	Бурлаков Ю.К.	12	77	Голимбет В.Е. (Алфимова М.В.)	8	34
Бармин А.А.			Бурштейн Е.Ф.	6	67			
			Быченков В.Ю.	2	3			
			Бялко А.В.	5	80			
				9	69			

* Здесь и далее в скобках указаны соавторы.

Голубовский М.Д.	3 60	Келлер Н.Б.	11 57	Пастернак Р.К.	8 54
	10 53	Князев Ю.П.	7 57	Перекалин Д.С. (Левицкий М.М.)	9 58
	10 70	Коваль В.Ю. (Медынцева А.А.)	5 71	Петрова Л.И. (Ингель Л.Х.)	5 27
Гомазков О.А.	5 62	Ковальзон В.М. (Дорохов В.В.)	7 65	Полянский А.А. (Чугунов А.О.,	
Горбунов А.П. (Горбунова И.А.)	3 50	Ковальзон В.М.	5 85	Ефремов Р.Г.)	3 3
Горбунова И.А. (Горбунов А.П.)	3 50	Ковальчук М.В.		Попинако А.В. (Соколова О.С.)	7 33
Гордеев Е.И.		(Новикова Н.Н., Якунин С.Н.)	12 3	Портнов А.М.	5 43
(Бармин А.А., Мельник О.Э.)	12 34	Козлов А.И.	3 18		12 42
Григорьев А.И.	1 30	Колбин В.А.	4 59	Потапов Р.Л.	11 89
Грищенко В.Н.		Кольцов Н.К.	10 64	Пухальский А.Л.	4 54
(Яблоновская-Грищенко Е.Д.)	7 43		10 80	Пухальский А.Л. (Шмарина Г.В.)	6 3
Гришук Е.Л. (Атауллаханов Ф.И.)	1 37	Комаров В.Н.	6 63	Пушаровский Ю.М.	3 70
Громова Л.И. (Космачевская Э.А.)	9 77	Комаров В.Н. (Дирксен Е.О.,			
Губарев В.С.	8 77	Рузаева И.Н.)	12 73	Раменская М.Е.	
		Комиссар О.Н. (Шариков Ю.Н.,		(Вавилов Ю.Н., Стуков В.И.)	11 66
Демидов С.С.	3 57	Якобсон К.Э.)	9 49	Раменский Е.В.	10 73
Дирксен Е.О. (Комаров В.Н.,		Конюшенко Г.Ф.	4 64	Расницын А.П.	9 39
Рузаева И.Н.)	12 73	Космачевская Э.А. (Громова Л.И.)	9 77	Расцветаева Р.К.	3 46
Джамалов Р.Г. (Хасиев Р.С.)	4 3	Косьян Р.Д. (Крыленко В.В.,			4 68
Докучаев Н.Е.	8 63	Куклев С.Б.)	2 19		12 70
Долгополов В.П. (Зеленый Л.М.,		Котляков В.М.	5 3	Розенштраух Л.В.	8 10
Хартов В.В., Митрофанов И.Г.)	1 23	Кривоногов С.К.	8 46	Романов М.Н.	
Долженко В.Д. (Беззубов С.И.)	6 45	Крыленко В.В.		(Авруцкая Т.Б., Моисеева И.Г.)	2 63
Доронин И.В. (Ананьева Н.Б.)	6 86	(Косьян Р.Д., Куклев С.Б.)	2 19	Рубцов Н.Б.	10 24
Дорохов В.В. (Ковальзон В.М.)	7 65	Куденко Ю.Г.	11 3	Рузаева И.Н. (Комаров В.Н.,	
Дроздов А.А. (Белоусов Ю.А.)	8 39	Кузьмин А.В.	6 93	Дирксен Е.О.)	12 73
Дронова М.С. (Левицкий М.М.,		Куклев С.Б.			
Биличенко А.Н.)	2 39	(Косьян Р.Д., Крыленко В.В.)	2 19	Савельева Г.Н. (Белокрыс А.М.)	11 14
Дыбовский А.П. (Голиков Ю.П.)	7 72			Сагалевиц А.М.	11 43
		Левицкий М.М. (Биличенко А.Н.,		Садчиков А.П.	12 88
Ежова Т.А. (Широкова А.В.)	10 32	Дронова М.С.)	2 39	Свиточ А.А.	
Ефремов Р.Г. (Чугунов А.О.,		Левицкий М.М. (Перекалин Д.С.)	9 58	(Бадюкова Е.Н., Шейхи Б.)	6 60
Полянский А.А.)	3 3	Липунов В.М. (Чернин А.Д.)	1 108	Скорохватов М.Д.	3 13
Жебрак Э.А. (Солнцева М.П.)	4 78	Любина Г.И.	12 80	Смондырев М.А.	1 123
		Любушин А.А.	8 23	Соколов В.И.	3 28
Журавлев А.Ю.	4 89			Соколова Н.А.	
		Майзингер Р.	7 93	(Хиразова Е.Э., Маслова М.В.)	2 12
Заварзин Г.А.	1 100	Марков А.Н. (Талалай П.Г.)	2 29	Соколова О.С. (Попинако А.В.)	7 33
Зайцева А.С. (Володин И.А.,		Марова И.М. (Иваницкий В.В.)	6 37	Солдатова Н.В. (Володин И.А.,	
Ильченко О.Г., Володина Е.В.,		Маслова М.В.		Володина Е.В., Фрай Р.,	
Чеботарева А.Л.)	7 50	(Хиразова Е.Э., Соколова Н.А.)	2 12	Юлдашев Э.Т.)	4 44
Захаров И.А.	7 68	Махмутов В.С. (Стожков Ю.И.)	12 27	Солнцева М.П. (Жебрак Э.А.)	4 78
Захаров-Гезехус И.А.	3 23	Медынцева А.А. (Коваль В.Ю.)	5 71	Сотсков В.П. (Александров П.А.,	
Зеленый Л.М. (Хартов В.В.,		Мельник О.Э.		Калечиц В.И.)	9 3
Митрофанов И.Г.,		(Бармин А.А., Гордеев Е.И.)	12 34	Стерлядкин В.В.	5 20
Долгополов В.П.)	1 23	Митрофанов И.Г. (Зеленый Л.М.,		Стожков Ю.И. (Махмутов В.С.)	12 27
		Хартов В.В., Долгополов В.П.)	1 23	Стрелков П.П.	
Иваницкий В.В. (Марова И.М.)	6 37	Моисеева И.Г.		(Хайтов В.М., Католикоса М.В.)	6 51
Ильин А.В.	9 22	(Романов М.Н., Авруцкая Т.Б.)	2 63	Стуков В.И.	
Ильченко О.Г. (Володин И.А.,		Морозов Н.С.	5 49	(Вавилов Ю.Н., Раменская М.Е.)	11 66
Володина Е.В., Зайцева А.С.,				Сурдин В.Г.	2 71
Чеботарева А.Л.)	7 50	Наугольных С.В.	4 31		6 83
Ингель Л.Х. (Петрова Л.И.)	5 27		12 49		9 86
		Недоспасов С.А.	1 114		
Казанцева А.А.	4 87	Никитов С.А.	1 51	Талалай П.Г.	7 3
Калечиц В.И. (Александров П.А.,		Николаева С.Б.	7 26		11 51
Сотсков В.П.)	9 3	Никонов А.А.	11 24	Талалай П.Г. (Марков А.Н.)	2 29
Католикоса М.В. (Стрелков П.П.,		Новикова Н.Н.		Тихомиров В.М.	3 55
Хайтов В.М.)	6 51	(Ковальчук М.В., Якунин С.Н.)	12 3	Ткаченко К.Н.	2 57
Кашеверов И.Е. (Цетлин В.И.)	4 23	Носкова Н.К.	5 74	Трейбус Е.Б.	9 90

Узбеков Р.Э. (Алиева И.Б.)	5	36	Цвельх А.Н.	3	75	Шибаяев В.П.	1	61
Урусов В.С.	10	16	Цетлин В.И. (Кашеверов И.Е.)	4	23	Широкова А.В. (Ежова Т.А.)	10	32
Фет В.	8	67	Чеботарева А.Л. (Володин И.А., Ильченко О.Г., Володина Е.В., Зайцева А.С.)	7	50	Шмарина Г.В. (Пухальский А.Л.)	6	3
Фоффи Дж. (Белушкин М.А.)	8	17	Черепашук А.М. (Чернин А.Д.)	1	11	Щеголев В.А.	8	3
Фрай Р. (Володин И.А., Володина Е.В., Солдатова Н.В., Юлдашев Э.Т.)	4	44	Чернин А.Д. (Липунов В.М.)	1	108	Щербаков Р.Н.	6	74
Фридкин В.М.	7	80	Чернов Ю.И.	2	47	Юлдашев Э.Т. (Володин И.А., Володина Е.В., Фрай Р., Солдатова Н.В.)	4	44
Хайтов В.М.			Чесноков В.С.	8	90	Яблоновская-Грищенко Е.Д. (Грищенко В.Н.)	7	43
(Стрелков П.П., Католикова М.В.)	6	51	Четверикова А.В.	4	39	Якобсон К.Э. (Шариков Ю.Н., Комиссар О.Н.)	9	49
Хартов В.В. (Зеленый Л.М., Митрофанов И.Г., Долгополов В.П.)	1	23	Чичагов В.П.	11	35	Якубовская М.Г. (Белицкий Г.А.)	12	15
Хасиев Р.С. (Джамалов Р.Г.)	4	3	Чугунов А.О. (Полянский А.А., Ефремов Р.Г.)	3	3	Якунин С.Н. (Ковальчук М.В., Новикова Н.Н.)	12	3
Хиразова Е.Э.	2	12	Чудов С.В.	7	86	Ярошевский А.А.	1	71
(Маслова М.В., Соколова Н.А.)	2	12	Шариков Ю.Н.					
Холодов В.Н.	6	25	(Якобсон К.Э., Комиссар О.Н.)	9	49			
			Шейхи Б. (Свиточ А.А., Бадюкова Е.Н.)	6	60			

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
М.Б.БУРЗИН
Е.Е.БУШУЕВА
Т.С.КЛЮВИТКИНА
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
О.И.ШУТОВА
С.В.ЧУДОВ

Литературный редактор
Е.Е.ЖУКОВА

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
М.В.КУТКИНА
Л.М.ФЕДОРОВА

Графика, верстка:
А.В.АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредитель:
Российская академия наук,
президиум
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

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

Подписано в печать 16.11.2012
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 782
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»
Академиздатцентра «Наука» РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6