

ПРИРОДА

12 09



В НОМЕРЕ:

- 3** **Сурдин В.Г.**
Международный год астрономии – 2009

- 11** **Ревнивцев М.Г.**
Загадка рентгеновского «хребта» Галактики

Когда по данным рентгеновских наблюдений получилось, что межзвездная среда нашей Галактики необычайно горяча, это поставило астрофизиков в тупик. Лишь теперь выяснилось происхождение регистрируемого излучения.

- 18** **Бялко А.В.**
Палеоклимат: дополнения к теории Миланковича

В прошлом столетии сербский астроном М.Миланкович выдвинул смелую теорию, объясняющую природу климатических циклов вариациями астрономических параметров. За истекшие 70 лет наши знания существенно расширились, и появилась возможность дополнить эту теорию результатами современных исследований палеоклимата.

- 29** **Темерева Е.Н., Малахов В.В.**
Кто такие форониды?

Строение и развитие этих организмов столь необычны, что зоологи, не колеблясь, выделили их в отдельный тип животного царства, состоящий всего из дюжины видов.

- 39** **Портнов А.М.**
Сложная жизнь древнейшей россыпи

Прибрежно-пляжную россыпь, залегающую в осадочных породах архейского возраста и намытую волнами на берегах неведомого моря на самой ранней стадии истории Земли, удалось обнаружить при аэрогеофизической съемке центральной части Кольского п-ова.

- 44** **Шишковский И.В., Кузнецов М.В., Морозов Ю.Г.**

Твердое пламя и лазер: синтез объемной керамики

Керамика, известная еще с неолита, сейчас, в эру высоких технологий, стала «умной». Начало ей дал твердопламенный синтез — метод, открытый в 1967 г. отечественными учеными и теперь используемый во всем мире для получения материалов с уникальными свойствами и создания самых разнообразных устройств.

- 53** **Рокитянский Я.Г.**
Николай Вавилов и Сталин
Неизвестная встреча 15 марта 1929 года

Биография современника

- 59** **Островский А.Н.**
Непотопляемый: жизнь Евгения Михайловича Крепса

Заметки и наблюдения

- 69** **Комаров В.Н.**
Каменные кружева Горного Крыма

- 71** **Чернецов А.В.**
Раны Старой Рязани

Уникальный памятник археологии — Старая Рязань — единственный стольный город домонгольской Руси, ставший классическим мертвым городом. Общая ситуация с охраной памятников в нашей стране не позволяет ныне активно противостоять ни разрушительным природным процессам, ни хищническим набегам «черных копателей».

- 77** **Новости науки**

«Миры» на Байкале. Сагалевиц А.М. (77). Диоксид углерода в атмосфере раннего плейстоцена (78). Изотопное фракционирование дейтерия в тропосфере (79). Тают ледниковые щиты Гренландии и Антарктиды (80). Климат Арктики за последние 2000 лет (80). Мамонтов сгубила комета? (81). Нанотехнологии — в жизнь (81). Сверхпроводимость на службе у ОТО (82). Благородные и цветные металлы в железомарганцевых корках Охотского моря (82).

Рецензии

- 84** **Никонов А.А.**
Репортаж из-под завалов: век спустя (на кн.: S.Tchakhotine. SOTTO LE MACERIE DI MESSINA. Racconto di un sopravvissuto al terremoto del 1908 (С.Чухотин. ПОД РАЗВАЛИНАМИ МЕССИНЫ. Рассказ заживо погребенного в землетрясении 1908 года))

- 87** **Новые книги**

- 88** **Кузьмин А.В.**
Рождение номографии

- 90**
Тематический и авторский указатели за 2009 год

CONTENTS:

- 3 Surdin V.G.**
2009 – International Year of Astronomy?

- 11 Revnitzev M.G.**
The Riddle of X-Ray «Ridge» of Our Galaxy

When X-ray observations suggested that galactic interstellar medium is surprisingly hot astrophysicists were in deadlock. Only recently the origin of the observed radiation was understood.

- 18 Byalko A.V.**
Paleoclimate: Addenda to Milankovich Theory

In the last century a Serbian astronomer M.Milankovich put forward a daring theory explaining causation of climate cycles by variations of astronomical parameters. During 70 years that past elapsed since then our knowledge has grown substantially, and now it is possible to supplement this theory by results of current studies of paleoclimate.

- 29 Temereva E.N., Malakhov V.V.**
What Phoronidea Are?

Structure and development of these organisms are so uncommon that zoologists without hesitation singled out them as a separate type of animal kingdom, consisting just of a dozen of species.

- 39 Portnov A.M.**
Complicated Life of the Most Ancient Alluvial Deposit

Beachfront alluvial deposit bedded in Archaean sediments and accrued by waves at the shores of unknown sea in the earliest epoch of the Earth history was discovered during aerogeological survey of the central part of Kola peninsula.

- 44 Shishkovsky I.V., Kuznetsov M.V., Morozov Yu.G.**
Solid Flame and Laser: Synthesis of Volume Ceramics

Ceramics known since Neolithic now, in era of high technologies, became «smart». It began with solid-flame synthesis – a method discovered in 1967 by Russian scientists and now used worldwide to obtain materials possessing unique properties and producing a vast range of devices.

- 53 Rokityansky Ya.G.**
Nikolay Vavilov and Stalin
Unknown meeting 15 March 1929

Biography of Our Contemporary

- 59 Ostrovsky A.N.**
Non-Sinkable: Life of Evgeniy Mikhailovich Kreps

Notes and Observations

- 69 Komarov V.N.**
Stone Laces of Mountain Crimea

- 71 Chernetsov A.V.**
Wounds of Staraya Ryazan

The unique archeological site – Staraya Ryazan – is the only capital city of pre-Mongolian Russia which became a classical dead city. General situation in protection of cultural heritage in our country does not allow now to actively fend off neither destructive natural processes nor injurious forays of «black diggers».

- 77 Science News**

«Mir» Bathyscaphes at Baikal. **Sagalevitch A.M.** (77). Carbon Dioxide in Early Pliocene Atmosphere (78). Deuterium Isotope Fractioning in Troposphere (79). Ice Sheets of Greenland and Antarctic Are Melting (80). Arctic Climate During Last 2000 Years (80). Mammoths Were Killed by a Comet? (81). Nanotechnologies – into Practice (81). Superconductivity Supports General Relativity (82). Noble and Non-Ferrous Metals in Ferrimanganese Crusts of Sea of Okhotsk (82).

Book Reviews

- 84 Nikonov A.A.**
Report from under Rubble: A Century after (on a book: S.Tchakhotine. SOTTO LE MACERIE DI MESSINA. Racconto di sopravvissuto al terremoto del 1908 (S. Tchakhotine. UNDER RUINS OF MESSINA. An account of a buried alive in 1908 earthquake))

- 87 New Books**

In the End of the Issue

- 88 Kuzmin A.V.**
Birth of Nomography

- 90 Subject and Author Index for 2009**

Международный год астрономии — 2009



В.Г.Сурдин

По инициативе Международного астрономического союза, поддержанной ЮНЕСКО, 62-я Генеральная ассамблея ООН 19 декабря 2007 г. объявила 2009 год Международным годом астрономии (МГА-2009, IYA2009). В истории любой науки международные мероприятия такого уровня бывают очень редко; для астрономии оно вообще первое. Связано это отчасти с тем, что астрономия — наука в высшей степени интернациональная: у астрономов один объект исследования — небо, изучать которое, по большому счету, можно только кооперативно. Фактически у профессиональных астрономов каждый год — международный, поэтому был ли смысл объявлять «международным» какой-то один год?

А дело в том, что, в отличие от Международного полярного или Международного геофизического, нынешний Международный год астрономии носит в основном не научно-исследовательский, а просветительский характер. Это отражено и в девизе МГА-2009: The Universe — Yours to discover, что на русский язык переложили как «Вселенная — для Вас». Цели проводимых в течение года мероприятий следующие: усилить общественную поддержку научных исследований, улучшить качество научного образования на всех уровнях, привлечь интерес молодежи к научной деятельности. Еще одна осо-



Владимир Георгиевич Сурдин, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Государственного астрономического института им.П.К.Штернберга (МГУ), доцент физического факультета МГУ. Основные работы посвящены звездной динамике, вопросам происхождения и эволюции звездных скоплений.

бенность МГА в том, что к проведению большинства мероприятий привлекаются кроме профессиональных ученых еще и любители астрономии, причем не только как слушатели и зрители, но и как полноправные участники и организаторы.

Открытия старые и новые

Почему же Годом астрономии был объявлен именно 2009-й? Формально он приурочен к **400-летию** создания телескопа Галилео Галилеем (1609). Одного этого события, ставшего отправной точкой грандиозного переворота в нашем представлении о космосе, было бы достаточно как повода для МГА. Но на 2009 г. пришлось еще несколько столетних юбилеев, в том числе и отечественных:

- **300 лет назад** основаны первые обсерватории в России;
- **200 лет назад** открыт первый представитель самого

многочисленного населения Солнечной системы — астероидов, которых сегодня насчитывается более 400 тысяч;

- **100 лет назад** К.Э.Циолковский в своем труде «Исследование мировых пространств реактивными приборами» теоретически доказал возможность прямого изучения космических тел, ставшего сегодня неотъемлемой частью астрономии.

Кроме того, 50 лет назад — в октябре 1959 г. — мир впервые увидел обратную сторону Луны на снимках, переданных советским космическим аппаратом «Луна-3». Нужно не забывать, что это единственное астрономическое открытие, которое принципиально невозможно сделать с поверхности Земли или из околоземного космоса. Многие поколения ученых и писателей строили догадки о невидимой стороне Луны, и лишь полвека назад отечественная космонавтика разрешила эти споры. Наконец, 40 лет

назад человек впервые ступил на поверхность Луны. Это великое достижение американской техники уже в полном смысле слова стало легендой. Даже некоторые инженеры еще недавно не верили, что эти фантастические экспедиции на самом деле удалось осуществить почти столетия назад. Но для астрономии полеты на Луну стали важнейшей вехой в изучении Солнечной системы.

Как видим, юбилейных дат в истекающем году было более чем достаточно для объявления его Годом астрономии. Но почему для него выбран именно такой девиз? Что именно астрономы предполагали донести до любознательной публики? Какую «вселенную» они хотели распахнуть перед любителями естествознания? Оглядываясь назад, легко заметить, что после завершившейся в конце 1970-х Второй революции в астрономии (выражение И.С.Шкловского) и наступившего затем периода некоторого застоя 1990-е годы дали старт эпохе новых замечательных, а порою — потрясающих открытий.

1992 г. Обнаружены пространственные флуктуации реликтового излучения (Нобелевская премия по физике за 2006 г.), чем окончательно доказана теория Большого взрыва и поставлена на твердую основу теория происхождения галактик и звезд.

1992—1995 гг. Открыты многочисленные малые планеты на периферии Солнечной системы — в поясе Койпера. С 1930 г. за орбитой Нептуна был известен лишь один объект — маленькая планета Плутон; в 1978 г. был открыт его спутник Харон. Казалось, что это граница нашей планетной системы. Но с 1992 г. в окрестности орбиты Плутона и за ней начали обнаруживаться новые объекты. К 1995 г. стало ясно, что эта область населена множеством тел с характерным размером в сотни и тысячи километров, причем некоторые из них

больше Плутона и имеют собственные спутники. Границы Солнечной системы раздвинулись в несколько раз.

1993—1995 гг. Радиоастрономическими методами найдена планетная система у нейтронной звезды-радиопульсара. Методами оптической спектроскопии обнаружено присутствие планет-гигантов рядом с нормальными звездами — открыты экзопланеты. Сейчас в около-солнечной окрестности Галактики уже известно более 300 планетных систем, содержащих в сумме не менее 400 планет. В конце 1995 г. впервые удалось «дотронуться» до планеты-гиганта: атмосферный зонд межпланетной станции Galileo вошел в атмосферу Юпитера и исследовал ее состав. Сам Galileo впервые стал искусственным спутником Юпитера и 8 лет исследовал гигантскую планету и ее естественные спутники.

1996—1997 гг. Открыт новый класс небесных объектов — коричневые карлики, занимающие промежуточное положение между звездами и планетами. Их массы (0.0013—0.08 массы Солнца) слишком малы, поэтому температура в недрах слишком низка для термоядерных реакций с участием основного, легкого, изотопа водорода, хотя и достаточна для сгорания редкого изотопа — дейтерия, не дающего, однако, существенного вклада в энергию. Единственным долговременным источником энергии коричневых карликов служит их гравитационное сжатие.

1997—1999 гг. Приоткрыта тайна космических гамма-всплесков, часть из которых отождествлена с фантастически мощными взрывами массивных звезд (гиперновые!), вероятно, сопровождающими рождение черных дыр.

1998 г. Обнаружено, что расширение Вселенной в последние миллиарды лет происходит с ускорением, что свидетельствует о существовании некоей «темной энергии» (пока это ус-

ловное название) со свойством антигравитации.

1998—2002 гг. На подземных нейтринных детекторах зарегистрированы осцилляции солнечных нейтрино: превращение солнечного электронного нейтрино в нейтрино других сортов — мюонное и тау. Тем самым доказано, что у нейтрино есть масса, что теория внутреннего строения звезд (и Стандартная модель Солнца) верна и что необходимо модернизировать существующую Стандартную теорию элементарных частиц.

2004 г. Получены первые изображения экзопланет: рядом с коричневыми карликами удалось в ИК-диапазоне заметить собственное излучение очень массивных и молодых экзопланет, имеющих температуру около 1700 К. На Марс спустились (и работают до сих пор!) две мобильные лаборатории — Spirit и Opportunity, открывшие эпоху детального геологического изучения Красной планеты. А с орбиты за Марсом постоянно «шпионят» несколько спутников и регулярно обнаруживают на его поверхности (и даже под ней!) удивительные структуры. Свой искусственный спутник появился и у второй гигантской планеты — Сатурна. Зонд Cassini доставил в систему Сатурна и спускаемый аппарат Huygens, который успешно опустился и работал на поверхности Титана — самого удивительного из всех спутников планет. Его холодная азотная атмосфера чрезвычайно интересует исследователей предбиологической эволюции Земли.

2004—2006 гг. Начали работать первые полномасштабные детекторы гравитационных волн. Хотя сами волны пока не зарегистрированы, новое «окно» во Вселенную можно считать распахнутым. Остается ждать, когда в это «окно» влетят первые гравитационноволновые импульсы.

2008 г. Подготовлены эксперименты на Большом адронном коллайдере, созданном под эги-

дой CERN на границе Швейцарии и Франции, близ Женевы. В ускорителе протоны предполагается в конечном счете разгонять до энергии 7 ТэВ, так что полная энергия в системе центра масс двух сталкивающихся протонов составит 14 ТэВ. Это позволит изучить свойства материи в условиях, характерных для первых мгновений жизни Вселенной. В конце года зарегистрированы изображения экзопланет в отраженном от них свете родительской звезды, т.е. они сфотографированы так же, как планеты нашей Солнечной системы. Началась эпоха изучения природы экзопланет.

Как видим, прошедшие 15 лет — «золотые годы» современной астрономии. Список недавних открытий можно было бы продолжить, но не только открытиями были богаты эти годы. За то же время произошла техническая революция в астрономии — создано поколение гигантских телескопов диаметром 8–10 м, способных работать в режиме интерферометра; начали функционировать системы адаптивной оптики, позволяющие бороться с атмосферными искажениями изображений; построены телескопы-роботы, пригодные для автоматической «инвентаризации» не только Солнечной системы, но и внегалактического пространства. Одним словом, астрономы поняли, что со всем этим букетом открытий и новаций пора «идти в народ».

Знания — массам

И пошли: около 150 стран приняло официальное участие в мероприятиях МГА. Задолго до его начала были сформированы и начали работать национальные комитеты по проведению Года астрономии; в России такой комитет возглавил академик А.А.Боярчук, а обязанности секретаря возложили на доктора физико-математических наук О.Ю.Малкова (Институт астро-

номии РАН). Торжественная церемония открытия МГА прошла 15–16 января 2009 г. в парижской штаб-квартире ЮНЕСКО: ученые со всего мира рассказывали об истории астрономии, ее значении для общества и о целях МГА. Среди событий этого года было несколько тысяч локальных и региональных, подробно описанных на сайте www.astronomy2009.org и национальных сайтах МГА, а также несколько международных глобальных проектов, к осуществлению которых приглашались все астрономические учреждения мира. Пример глобального проекта — «Космический дневник», посвященный описанию повседневной жизни астрономов. Более 50 блогеров — профессиональных ученых из разных стран и организаций, включая ESO, NASA, ESA, JAXA, — пишут о своей жизни, работе и проблемах, с которыми они сталкиваются. Итогом проекта станет книга, в которой будут собраны популярные рассказы ученых о тех областях астрономии, которым они служат. А в рамках проекта «365 дней в астрономии» на протяжении всего года в Сети ежедневно публикуется один подкаст (звуковой или видеодатчик), посвященный той или иной астрономической теме.

Еще один глобальный проект — «100 часов астрономии», состоялся со 2 по 5 апреля и включал большое количество событий по всему миру, привлекающих интерес общества к астрономии. Одна из основных задач проекта — предоставить как можно большему числу желающих возможность посмотреть в телескоп, как это впервые сделал 400 лет назад Галилей. В России начало апреля — не самое подходящее время для астрономических наблюдений: облачно и холодновато. Поэтому наши «100 часов» состоялись в сентябре и приняли более широкий размах. Например, весь сентябрь двери Государственно-

им.П.К.Штернберга (ГАИШ) МГУ были открыты для желающих посмотреть в телескоп*. Желающих оказалось много. Сентябрьские вечера в основном выдались ясными, на небе сиял Юпитер и непременная Луна. Астрономы ГАИШ со своими тремя стационарными телескопами не смогли бы удовлетворить любознательность всех желающих — порою их собиралось более тысячи! — если бы не помощь любителей астрономии. Во дворе ГАИШ каждый вечер энтузиасты разворачивали несколько мини-обсерваторий с мобильными телескопами лучших мировых производителей. На улице и в холлах ГАИШ читались богато иллюстрированные лекции. В целом это мероприятие заняло полноценные 100 часов, заполненные восторгом, энтузиазмом и восхищенными лицами любознательных москвичей всех возрастов. Около 10 тыс. гостей посетило ГАИШ. Самым распространенным возгласом покидающих наш астрономический храм было: «Давно мечтал посмотреть в телескоп. Как же это здорово!»

Были и другие глобальные проекты. Например, проект «С Земли во Вселенную» — это выставки астрономических изображений, развернутые для широкой публики в нетрадиционных местах: общественных садах и парках, музеях, торговых центрах и даже на станциях метро. В рамках проекта «Мир ночью» публике были представлены коллекции великолепных фотографий, запечатлевших земные ландшафты со звездным небом на заднем плане. Одной из задач МГА было широкое информирование о световом загрязнении, т.е. о неоправданно сильной засветке ночного неба, в особенности — над городами. Это приводит не только к пустому расходу электроэнергии и мешает работать астрономам, но и лишает всех людей радости созерцания

* www.sai.msu.ru/news/2009/03/29/teleskop.html



Всех желающих посмотреть в настоящий телескоп каждый погожий вечер ожидали в Государственном астрономическом институте им.П.К.Штернберга (МГУ).

Фото Сергея Аюкова, ГАИШ



Многие впервые в жизни встретились с настоящим телескопом.



Прежде чем наблюдать Солнце, нужно приготовить светофильтр.



Для ожидающих своей очереди на ступенях ГАИШ сотрудники института рассказывали о последних открытиях в астрономии, демонстрируя слайды прямо на стене здания.

Фото Сергея Аюкова, ГАИШ



Современные любительские телескопы порой имеют экзотический вид.



Дешевая астрономическая техника вызывает неподдельный интерес.



Дешевый телескоп системы Ньютона FirstScope, разработанный специально в ожидании Международного года астрономии.

Вселенной. В рамках проекта «Темное небо» к данному вопросу подошли практически: проводили звездные подсчеты в определенных участках неба из разных мест Земли с последующим сравнением результатов.

Разумеется, МГА не мог обойтись без крупного интернет-проекта. Сервис «Дверь во Вселенную» — это, как принято теперь говорить, агрегатор ресурсов. Он служит отправной точкой для путешествия по всем другим проектам МГА и по наиболее популярным астрономическим и космическим сайтам. Открыв «Дверь во Вселенную», вы увидите сразу множество «дверей и калиточек», ведущих к самым нужным и интересным сетевым астрономическим ре-

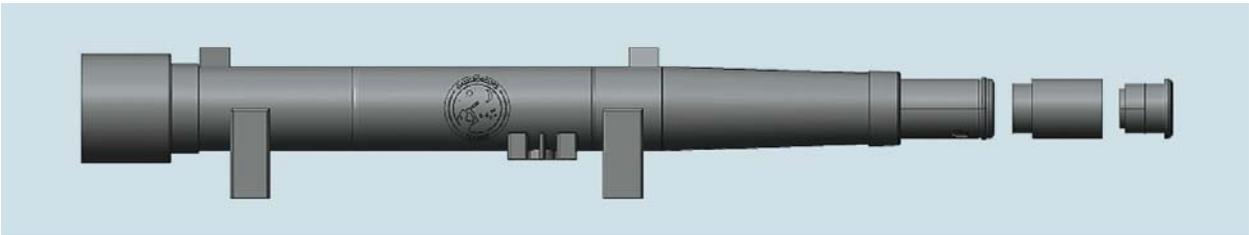
сурсам в текстовом, аудио- и видео-форматах. С помощью одного взгляда или одного клика вы сможете узнать о текущем состоянии неба над крупными городами («А не пора ли выносить на балкон телескоп?»), справиться о текущей космической погоде («С какой скоростью дует сегодня солнечный ветер?»), взглянуть на портрет Солнца в любом спектральном диапазоне («Много ли сегодня на Солнце пятен?»). Вы увидите ночные космические снимки полярных областей Земли («А не пригласить ли девушку полюбоваться полярным сиянием?»), попадете в галереи лучших космических фотографий; увидите, над какими областями Земли пролетают сейчас телескоп

Hubble и МКС («Значит, пару минут назад я видел на ночном небе не НЛО, а Международную космическую станцию!»). Буквально на одной странице размером чуть больше двух экранов монитора вы узнаете о расположении планет в Солнечной системе («Далеко ли сегодня до Марса?»), о текущем виде звездного неба, о последних вспышках сверхновых, о количестве обнаруженных экзопланет, об астероидах, в наибольшей степени угрожающих сегодня Земле, и о многих других полезных вещах. Вся сила этого проекта в том, что «Дверь во Вселенную» открывает путь только к наиболее профессиональным и высоконадежным ресурсам, отсекая тот «интернет-хлам», которого сейчас немало в области астрономии и космонавтики. Открыть эту «Дверь» легко*, но быстро закрыть ее трудно!

Сам себе Галилей

Как бы ни были насыщены интересной информацией сайты Интернета, главной целью МГА было продемонстрировать всем желающим реальную Вселенную. Поэтому в числе приоритетных проектов оказался выпуск недорогих телескопов, доступных любому желающему. Самым массовым стал галилеоскоп — рефрактор с двухлинзовым стеклянным ахроматическим объективом диаметром 50 мм и фокусным расстоянием 500 мм, четырехлинзовым пластиковым окуляром 25× и линзой Барлоу 2×, доводящей увеличение до 50×. Поле зрения телескопа 1.5° (или 0.75° с линзой Барлоу). С таким инструментом легко можно повторить все открытия Галилея. Впрочем, сам Галилей с подобным телескопом сделал бы их значительно больше. Цена инструмента в 20 долл. США действительно общедоступна. Любопытно, что со штатным положительным окуляром (даже с лин-

* www.portaltotheuniverse.org



Самый массовый и дешевый инструмент — галилеоскоп.

зой Барлоу) галилеоскоп в действительности представляет собой трубу Кеплера, но при использовании в качестве окуляра одной лишь линзы Барлоу он оправдывает свое название, становясь трубой Галилея 17×. Повторить открытие великого итальянца в такой (оригинальной!) конфигурации — задача уже не из легких.

Еще один интересный проект — FirstScore, дешевый телескоп-рефлектор системы Ньютона на монтировке Добсона. Диаметр объектива 76 мм, цена 50 долл. (в Москве — 2500 руб.). Весьма удобный и вполне массовый инструмент, пригодный для школ и начинающих любителей астрономии. Следует отметить, что цены этих двух инструментов значительно ниже существовавших ранее телескопов с аналогичными возможностями. Было бы весьма желательно приобрести их для наших школ.

Среди других официальных продуктов МГА — интересные книги, оригинальный карманный планетарий SkyScout, компьютерный планетарий RedShift и другие высококачественные и недорогие изделия, на которые следует обратить внимание преподавателей и любителей астрономии. Полный список проектов можно найти на главном сайте МГА* и его российском разделе**. Там приведен и полный список мероприятий в нашей стране в рамках МГА, центральным из которых стала Всероссийская конференция «Астрономия и общество» (25–27 марта 2009 г.,

МГУ). Ее организаторами выступили ГАИШ МГУ, Институт астрономии РАН (ИНАСАН), Астрономическое общество (АстрО), Национальный комитет российских астрономов (НКРА) и Научный совет по астрономии (НСА) РАН. На конференции, в присутствии около 700 участников и слушателей, ведущими учеными были сделаны обзоры по важнейшим направлениям астрономии и проведено несколько круглых столов по обсуждению роли и перспектив развития астрономии, а также наиболее острых проблем в ее преподавании и популяризации.

Из результатов опросов населения и тестирования школьников и студентов следует, что уровень астрономических знаний в России заметно снизился. Причины вполне очевидны: отмена обязательного преподавания астрономии в средней школе, прекращение подготовки учителей астрономии, существенный распад системы планетариев (особенно болезненно чувствуется многолетнее отсутствие Московского планетария), относительное подорожание научно-популярных книг и журналов, распад системы книготорговли. В резолюции конференции отмечается, что на фоне снижения уровня естественно-научных знаний все большее распространение получают лженаука и мистика, что в конечном счете приводит к экономическим потерям. Участники конференции посчитали необходимым в первую очередь:

— восстановить преподавание астрономии в школе в виде отдельного предмета;

— восстановить подготовку учителей астрономии в педвузах;

— включить представителей астрономической научной общности в состав комиссий по обсуждению нового стандарта образования по физике для школ (основное и среднее образование);

— сохранить специальность «астрономия» в университетах и внедрить астрономические курсы для студентов-физиков;

— завершить создание Кавказской Горной обсерватории МГУ как базовой российской учебно-научной обсерватории.

Ясно, что нельзя ожидать повышенного интереса к науке в стране, где сама наука находится в загоне. Что касается астрономии в России, то она испытывает немалые затруднения в своем развитии, разделяя судьбу нашей науки в целом. Участники конференции указали, что необходимо срочное присоединение России к международному процессу создания сложнейших наземных и космических астрономических инструментов нового поколения, которые невозможно построить и обслуживать в рамках отдельных национальных программ. В связи с этим прежде всего требуется:

— вступление России в члены международного консорциума Европейской южной обсерватории (ESO);

— реализация утвержденной, но откладываемой в течение многих лет Государственной программы создания космических обсерваторий, проработка дальнейших перспективных космических программ, в том числе в международной кооперации;

* www.astronomy2009.org

** www.astronomy2009.ru



Знаменитый английский астрофизик Мартин Рис демонстрирует галилеоскоп.

— завершение создания международного радиотелескопа РТ-70 (совместно с Республикой Узбекистан).

Резолюция Всероссийской конференции «Астрономия и общество» доведена до государственных органов науки и образования. Среди других событий года отметим крупную конференцию ЮНЕСКО «Астрономия и всемирное наследие: через время и континенты» (19—25 августа, Казань); создание специальных сайтов в Интернете, в том числе — службы ответов на вопросы общественности, касающиеся астрономии*; организацию многочисленных конкурсов, лекций и астрономических олимпиад для детей и молодежи.

Небо зовет!

Нужно признать, что момент для Международного года астрономии был выбран удачно. В 2009 г. происходили интерес-

ные небесные явления, в том числе самое продолжительное полное солнечное затмение XXI века, которое наблюдалось 22 июля в узкой полосе, проходившей через Индию, Бангладеш и Китай; наибольшая длительность полной фазы составила 6 мин и 39 с. Мощный метеорный поток Леониды ожидается в середине ноября: согласно прогнозам, его интенсивность превысит 500 «падающих звезд» в час. С помощью космической техники в этом году были сделаны важные наблюдения, вызвавшие общественный резонанс; особый интерес привлекли поиски воды на Марсе и Луне, обнаружение метана на Марсе, фотографии следов пилотируемых (Apollo) и автоматических экспедиций на поверхности Луны.

Вообще, отрадно, что в последние годы после долгого перерыва создатели космической техники вернулись к исследованию окосолнечных планет. Многими аппаратами непрерывно исследуется Марс, на орбите вокруг Венеры работает

европейский зонд Venus Express, а к Меркурию уже трижды подлетал и скоро станет его первым спутником зонд Messenger (NASA). Даже Луна опять стала популярной. Выяснилось, что мы очень мало знаем о ней, и даже нет детальных фотографий ее поверхности. В то время как с околомарсианской орбиты спутники наблюдают за движением марсоходов размером с чемодан, на лунной поверхности мы до недавних пор не могли сфотографировать следы посадки астронавтов и оставленные ими ракеты размером с грузовик. В 1960—1970-х годах исследованиями Луны из космоса занимались только СССР и США (кстати, первые в мире карты обратной стороны Луны и глобус Луны были созданы в ГАИШ). А ныне Луна стала почти такой же доступной, как Антарктида: к ней устремились Япония, Индия, Китай. Сейчас это научные исследования, но уже ясно, что речь идет о разделе ресурсов, а это, естественно, привлекает общественный интерес. Пока еще Россия остается в числе немногих стран, способных участвовать в изучении и эксплуатации космоса. Вопрос в том, нужно ли нам это и долго ли еще мы сможем удержаться в числе лидеров. Вообще, в последние годы было много широких дискуссий о будущем науки и, в частности, астрономии и космонавтики. Мероприятия прошедшего года способствовали этому.

Проведение Международного года астрономии потребовало от специалистов многих стран немалого напряжения и отрыва от своей основной, научно-исследовательской, работы. В мероприятиях МГА участвовали большинство профессиональных астрономов и армия любителей. В основном все делалось на голом энтузиазме. К счастью, энтузиазма было не занимать, и этот год, как нам кажется, надолго останется в памяти всех любознательных людей планеты. ■

* www.astronomy2009.ru/faq.html

Загадка рентгеновского «хребта» Галактики

М.Г.Ревнивцев

Основная масса вещества в галактиках (если не считать темной материи) содержится в звездах. Однако значительная его доля распылена и в межзвездной среде. Вообще можно сказать, что для астрофизики межзвездная среда — важнейший элемент, исследуя свойства которого, можно много узнать о различных физических процессах, происходящих в галактиках и их скоплениях. Простейшим наглядным примером будут, наверное, ударные волны, которые в межзвездной среде создаются взрывами сверхновых. По динамике движения ударных волн, по измерениям температур на их фронтах и положений последних можно оценивать энергию, выделившуюся во время взрыва или столкновения — такую информацию другим образом получить очень сложно. В межзвездной среде нашей Галактики сильные ударные волны порождаются только взрывами сверхновых (рис.1, слева), а в межгалактической среде волны могут возникать также в результате столкновений галактик (рис.1, справа) и т.д. Таким образом, изучение свойств межзвездной среды представляет большой интерес для астрофизиков — ее параметры важны для понимания энергетики Галактики в целом. Поэтому неудивительно, что когда в начале 80-х годов прошлого века рентгеновские наблюдения вроде бы указали на ее темпера-



Михаил Геннадьевич Ревнивцев, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела астрофизики высоких энергий Института космических исследований РАН. Научные интересы связаны с исследованием аккреции на релятивистские объекты.

туру в 100 млн градусов, астрофизики были поставлены в тупик. Но обо всем по порядку.

Неожиданная мощь

Пространство между звездами заполнено атомарным (ионизованным и нейтральным) и молекулярным водородом, электронами — продуктами ионизации газа, микроскопическими конгломератами атомов легких элементов (включая органические молекулы) — пылью; его пронизывают потоки высокоэнергичных частиц — космические лучи. Все участники этого ансамбля способны генерировать разнообразные фотоны. И действительно, межзвездная среда нашей Галактики светит в различных участках электромагнитного спектра. В радиодиапазоне свечение возникает в результате излучения холодной пыли, излучения свободных электронов и синхротронного

излучения релятивистских электронов космических лучей. Пример такого свечения можно видеть на рис.2, где легко определяется положение нашей Галактики — его выдает светлая полоса, проходящая через середину карты.

Взаимодействие космических лучей высоких энергий с веществом межзвездной среды должно приводить к испусканию гамма-лучей (энергии фотонов более нескольких МэВ). Этот феномен был предсказан более 40 лет назад и был обнаружен уже в одном из первых экспериментов по изучению неба в гамма-диапазоне (обсерватория OSO-3, NASA, время работы на орбите 1967—1969 гг.). В настоящее время наилучшие измерения излучения неба в данной области электромагнитного спектра дает обсерватория «Ферми» (NASA), запущенная в 2008 г. Карта неба по результатам работы первых 3 мес этой обсерватории показана на рис.2.

© Ревнивцев М.Г., 2009

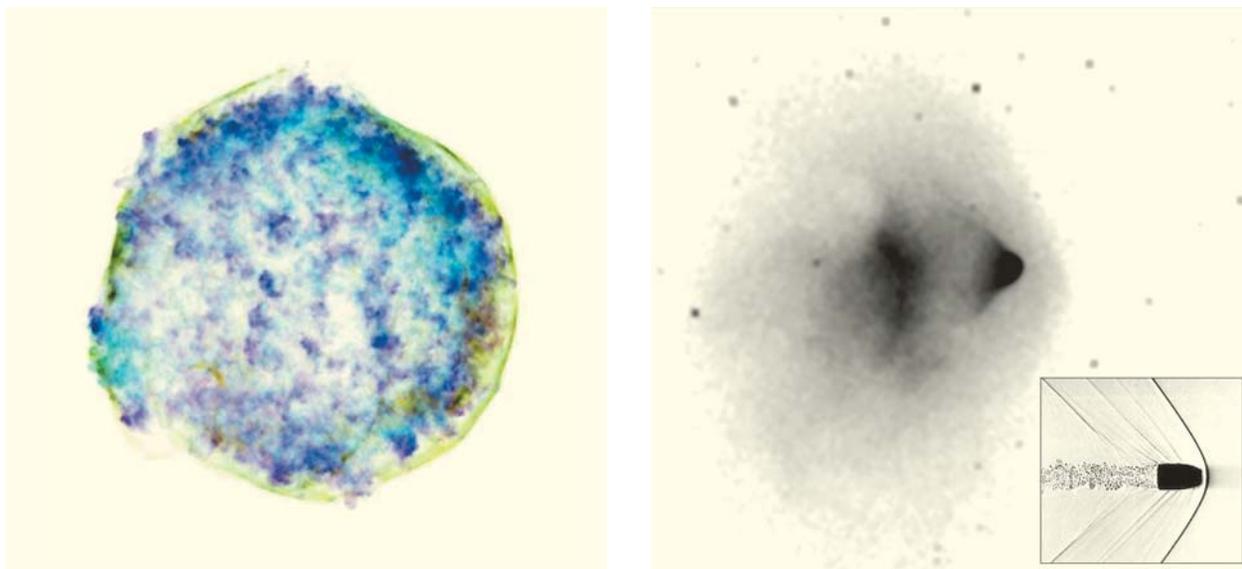


Рис.1. Изображение остатка вспышки сверхновой 1572 года (сверхновая Тихо) по данным наблюдений рентгеновской обсерватории Chandra (слева). Расширяющаяся внешняя граница излучения остатка вспышки сверхновой — ударная волна, которую взрыв сверхновой создал в межзвездной среде. Изображение скопления галактик Пуля (1E 0657—56) по данным наблюдений обсерватории Chandra (справа). Хорошо виден конус ударных волн в правой части, идущих спереди от летящей массы газа (темная «пуля», летящая на карте направо). Для сравнения в правом нижнем углу рисунка показано изображение полета сверхзвуковой пули в воздухе.

Изображение NASA

В рентгеновской части спектра основная часть излучения Галактики возникает в двойных системах с компактными объектами — черными дырами и нейтронными звездами. Эти экзотические объекты имеют уникально сильные гравитационные поля, двигаясь в которых, любое вещество приобретает скорости в десятки и сотни тысяч киломе-

тров в секунду. При соударении частиц между собой часть их энергии переходит в тепло и таким образом приводит к значительному нагреву — до температур в десятки и сотни миллионов градусов, когда характерным становится свечение именно в рентгеновских лучах. Для того чтобы черная дыра или нейтронная звезда «засветила», нужно

обеспечить поступление материи в ее окрестности. В Галактике проще всего это сделать, «посадив» компактный объект в двойную систему с обычной звездой. В такой двойной системе обычная звезда выполняет роль своего рода «бензобака», т.е. поставляет вещество для его использования в мощнейшем «реакторе» компактного объекта.

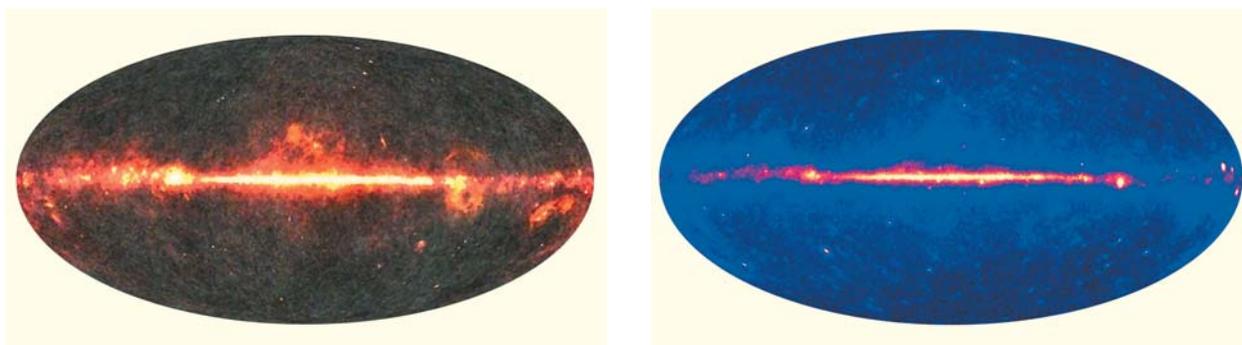


Рис.2. Карта неба в радиодиапазоне (10—100 ГГц) по данным обсерватории WMAP, NASA (слева). Хорошо заметно излучение межзвездной среды Галактики (полоса в центре карты). Карта неба в гамма-лучах по данным обсерватории «Ферми», NASA (справа). Излучение межзвездной среды Галактики, рождающееся при взаимодействии релятивистских частиц космических лучей с веществом межзвездной среды, видно как яркая полоса посередине карты. На левой и правой картах обнаруживается много общего в распределении яркости Галактики по небу — это следствие формирования свечения обоих типов с участием межзвездной среды.

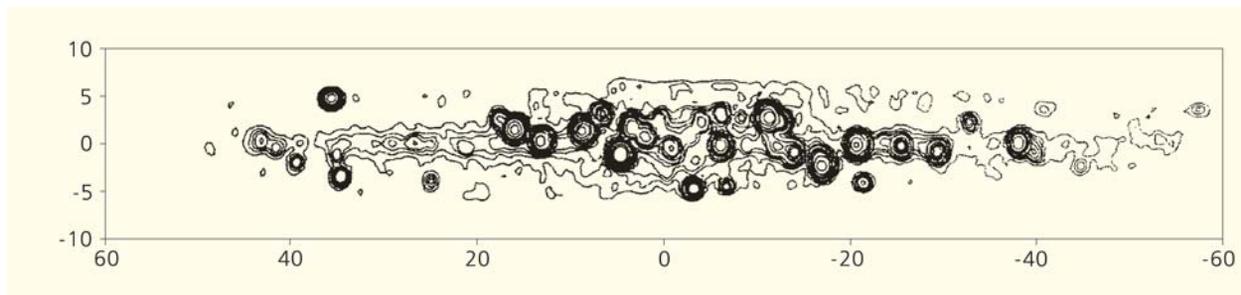


Рис.3. Карта галактической плоскости по результатам наблюдений обсерватории EXOSAT (время работы на орбите 1983—1986 гг.). Большие кружки — яркие рентгеновские источники, преимущественно двойные системы с черными дырами и нейтронными звездами. Хребет Галактики виден как полоса свечения, проходящая через середину карты.

Светимости подобных двойных систем в нашей Галактике достигают значений в 10^{38} — 10^{39} эрг/с, что в сотни тысяч и миллионы раз больше, чем светимость нашего Солнца.

Рентгеновские наблюдения, начавшиеся вскоре после появления первых ракет и спутников, сразу же показали наличие значительного числа таких систем в Галактике. Но выяснилось, что не все рентгеновское излучение Галактики можно приписать таким объектам. В области галактической плоскости остается тусклое свечение (рис.3), получившее название «рентгеновский хребет Галактики» [1, 2]. При более детальном исследовании этого излучения обнаружались эмиссионные линии сильно ионизованных атомов тяжелых элементов (например, железа), которые свидетельствовали о том, что излучение рождается в очень горячей плазме [3].

Горячая плазма вообще-то не является чем-то необычным для нашей Галактики. Процессы, происходящие в ней, нередко связаны со взрывами, с движениями с большими скоростями, которые часто приводят к нагреву окружающей объект плазмы до больших температур. Однако, как правило, это происходит в достаточно ограниченной области Галактики, т.е. основная часть межзвездной среды галактики остается относительно холодной. Теперь же оказывалось, что практически весь диск Галактики заполнен плазмой

с температурой в сотню миллионов градусов.

Самая главная загвоздка в понимании природы свечения рентгеновского хребта состояла в том, что плазму таких больших температур, как указывали наблюдения, гравитационное поле Галактики удержать не в силах. Поскольку, согласно наблюдениям, рентгеновское свечение концентрируется вблизи галактической плоскости (ширина области излучения составляет не более нескольких градусов), для того, чтобы картина рентгеновского хребта была стационарной, что-то должно предотвращать «разбегание» горячей плазмы. Гравитационного поля диска Галактики для этого явно недостаточно. Действительно, по результатам измерения движения звезд известно, что скорость убегания из диска Галактики составляет всего несколько десятков километров в секунду, в то время как тепловые скорости плазмы с температурой в сотню миллионов градусов достигают около тысячи километров в секунду. Такую горячую плазму могут удерживать лишь огромные скопления галактик с массами в $10^{15} M_{\odot}$, что примерно в 10 тыс. раз больше, чем масса нашей Галактики.

Другим вариантом существования горячей межзвездной плазмы в Галактике может быть ее постоянный отток, аналогично тому, как это часто наблюдается в галактиках с мощным звездообразованием (рис.4). Од-

нако оказывается, что для восполнения энергии, уносимой вместе с оттоком со скоростями более 1 тыс. км/с, необходимо каждую секунду закачивать по всей Галактике в межзвездную среду энергию порядка 10^{43} эрг — подобная величина совершенно не вписывается в наши текущие представления об энергетике Галактики. Для объяснения излучения хребта пытались также привлечь взаимодействие малоэнергичных электронов космических лучей с межзвездной средой, но безуспешно.

В начале 80-х годов был предложен еще один альтернативный способ объяснить формирование рентгеновского хребта Галактики. Предлагалось рассматривать хребет не как результат свечения собственно межзвездной среды, а как итог сложения свечения большого числа слабых рентгеновских источников, индивидуально необнаружимых на существовавших тогда картах галактического диска. Такое объяснение полностью снимало бы проблему загадочного и до сих пор неизвестного источника огромной энергии в Галактике.

Однако до недавнего времени эта гипотеза не находила поддержки среди астрономов. Основной причиной тому была скудность сведений о демографии (статистических свойствах различных классов объектов) — было сложно предсказать, какой вклад они могут дать в масштабе всей Галактики. Настоящим прорывом в изучении рентгеновско-



Рис.4. Изображение галактики M82 в разных участках электромагнитного спектра (белый — оптическое изображение, красный — инфракрасное). Видно, что большая часть рентгеновского излучения (голубой цвет) формируется в горячей оттекающей плазме.

го хребта стало получение его высококачественной карты [4] и составление «переписи рентгеновского звездного населения» в окрестностях Солнца [5].

Под прицелом — хребет

Исследование морфологии излучения, т.е. его распределения по небу, и сопоставление полученной карты с уже известными распределениями различных объектов очень часто дают ключи к разгадке природы явления. Например, если рентгеновское свечение хребта возникает в результате взаимодействия космических лучей с веществом межзвездной среды, можно ожидать, что свечение хребта будет ярче там, где межзвездная среда более плотная и больше космических лучей. Если же свечение хребта связано с влиянием сверхновых на межзвездную среду, рентгеновское свечение должно быть ярче там, где больше сверхновых, и т.д. Так, в конце 60-х годов, после открытия свечения Галактики в гамма-лучах, распределение этого свечения было сопос-

тавлено с известными картами межзвездной среды, что сразу же указало на причину формирования гамма-излучения — взаимодействие космических лучей больших энергий с межзвездным газом (см. рис.2).

Получение хорошей карты рентгеновского хребта Галактики оказалось очень непростой задачей. Основная проблема была в том, что поверхностная яркость хребта очень мала, всего около 10^{-11} эрг/с/см²/кв. градус, или $\sim 10^{-3}$ фот./с/см²/кв. градус. При типичных размерах и полях зрения рентгеновских инструментов (эффективная площадь менее 200–500 см², поля зрения — 0.05–0.2 кв. градуса) для того, чтобы накопить разумное количество фотонов от свечения хребта (например, 1 тыс. фотонов) в определенном направлении на небе, необходимо наблюдение в течение почти половины суток! А все свечение хребта занимает на небе площадь более 300 кв. градусов. Что означает: таких наблюдений длительностью до полусуток необходимо провести не одну тысячу! Для построения хорошей карты обыч-

ными инструментами необходимо было бы потратить много лет наблюдений только хребта Галактики, что, конечно же, нереально. Разумеется, можно увеличить поле зрения инструмента, однако тогда в это поле может попасть очень яркий источник (например, аккрецирующая черная дыра или нейтронная звезда), на фоне которого излучение хребта будет совершенно незаметно.

Решением стало использование инструмента, имеющего умеренное поле зрения — 1 кв. градус, и самую большую из всех существующих инструментов рентгеновского диапазона собирающую площадь — 6500 см². Это спектрометр PCA обсерватории RXTE (NASA, находится на орбите с декабря 1995 г.). Обсерватория RXTE не имеет на борту собственно телескопов — инструментов, предназначенных для построения изображений. Инструменты обсерватории — спектрометры, т.е. детекторы, измеряющие поток с определенной площади неба (их поле зрения ограничено трубой-коллиматором). После наведения на небесный объект они собирают рентгеновские лучи с этой площадки в течение длительного времени (обычно нескольких часов), а затем перенаводятся на следующий в своей наблюдательной программе объект. Однако ввиду того, что инструменты обсерватории RXTE имеют большую собирающую площадь, даже за те несколько сотен секунд, в которые обсерватория перенацеливает свои инструменты с одного объекта на следующий, им удастся собрать много полезной информации — измерить рентгеновское излучение разных точек неба по пути между одним источником и другим. Настолько много, что с помощью таких «скользящих» наблюдений удалось построить самую лучшую на текущий момент карту всего неба в стандартных рентгеновских лучах, в том числе и карту хребта Галактики (рис.5).

Ввиду того что большое количество ярких источников все-таки сильно затрудняло работу с излучением собственно хребта Галактики даже по данным наблюдений обсерватории RXTE, было решено применить дополнительный «трюк». Трюк заключался в том, чтобы строить карту не всех рентгеновских лучей, зарегистрированных инструментом, а только эмиссионной линии высокоионизированного железа (на энергии ~ 6.7 кэВ), которая характерна для свечения именно хребта Галактики и практически отсутствует в излучении ярких рентгеновских источников. Результат превзошел все ожидания — яркие источники убрались с карты очень эффективно. Первая попытка построить такую карту [6] была предпринята по данным наблюдений японского спутника GINGA (время работы на орбите 1987—1991 гг.). Однако самая лучшая карта была построена с помощью наблюдений обсерватории RXTE [7] (рис.6).

Детальные исследования хребта Галактики по картам обсерватории RXTE привели к удивительному выводу — рентгеновское излучение хребта оказалось ярче там, где ярче светят обычные звезды, и слабее ровно там, где они светят слабо. Итак, обнаружено: рентгеновское излучение хребта каким-то образом связано с массой звезд, которые мы просматриваем в своих наблюдениях.

Если предположить, что свечение хребта связано с большим количеством слабых рентгеновских источников, каким-то образом распределенным среди звезд, то точно такие же источники должны иметься и в окрестности Солнца, потому как она представляет собой довольно типичную область Галактики (возможно, за исключением присутствия немного большего числа молодых звезд). А поскольку ожидается, что их должно быть достаточно много, значит, они должны быть и на небольших расстояниях от

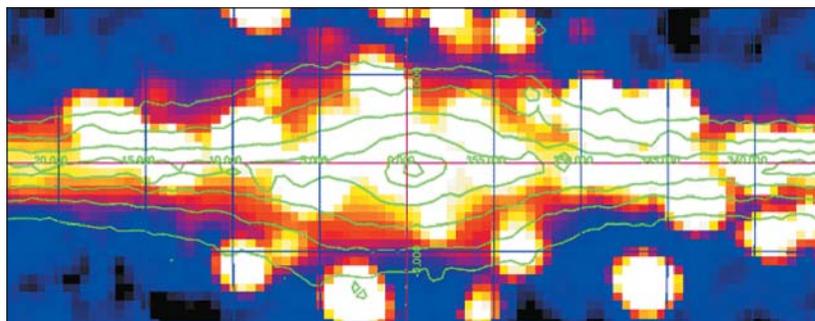


Рис.5. Карта неба в рентгеновском диапазоне, полученная с помощью данных RXTE, накопленных во время перенаведений обсерватории. Цвета указывают различную яркость объектов: темнее красного означают, что в этом месте отдельный рентгеновский источник не обнаружен. Крупные круглые пятна — яркие источники, преимущественно аккрецирующие нейтронные звезды и черные дыры. Их большой размер есть результат того, что карта имеет плохое угловое разрешение (у нее плохая «резкость»). Видно, что яркие источники сильно затрудняют получение карты собственно хребта Галактики. Зеленые контуры показывают яркость Галактики в инфракрасных лучах, т.е. фактически — распределение звезд в Галактике.

Солнца, т.е. в пределах досягаемости существующих обзоров неба. Результаты переписи звездного населения окрестностей Солнца, проделанного по результатам обзора всего неба обсерватории RXTE, подтвердили — суммарное излучение слабых рентгеновских источников во всей Галактике способно дать наблюдаемую картину хребта. Кроме того, предсказания на основе составленной переписи того, как должны выглядеть эти источники на существующих картах хребта Галактики, объяснили, почему их было так слож-

но обнаружить — не хватало чувствительности и углового разрешения приборов.

Чтобы напрямую разрешить излучение хребта Галактики на отдельные источники (показать, что излучение не размазано по небу, а сосредоточено в большом количестве отдельных точек-источников), необходимо было значительно увеличить чувствительность наблюдений и при этом иметь угловое разрешение не хуже 1—2 секунд дуги (1/3600—1/1800 доли градуса). Эта задача могла быть решена только с помощью сверхдолгих

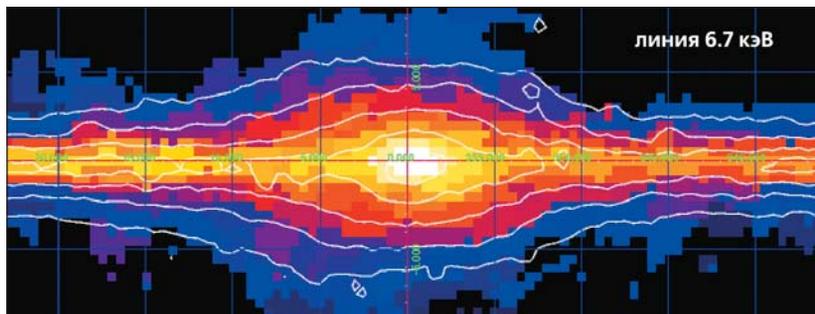


Рис.6. Карта хребта Галактики в излучении эмиссионной линии высокоионизированного железа (6.7 кэВ), очень характерной для свечения хребта, но отсутствующей в ярких рентгеновских источниках. Контурами показана яркость Галактики в инфракрасных лучах (фактически это распределение звезд). Видно хорошее соответствие между двумя наложенными картами.

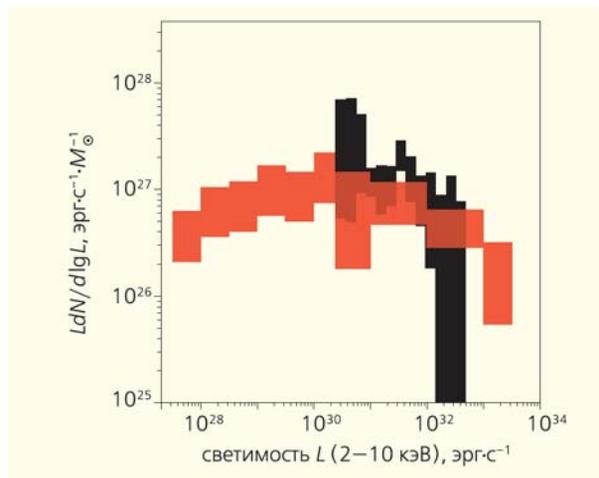
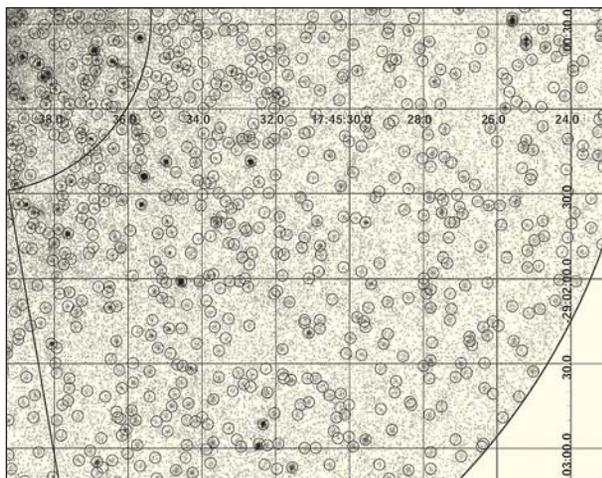


Рис.7. Рентгеновская карта области вблизи центра Галактики по результатам наблюдений обсерватории Chandra (слева). Кружками показаны обнаруженные на карте рентгеновские источники. Каждый источник скорее всего представляет собой двойную систему, в которой белый карлик перетягивает вещество со звезды-компаньона. Падая на поверхность белого карлика, это вещество нагревается до температур в десятки и сотни миллионов градусов и светит в рентгеновских лучах. Функция светимости рентгеновских звезд в Галактике (справа). Красным цветом показаны измерения, проведенные в окрестностях Солнца, серым — в области центра Галактики. N — число звезд в данном интервале светимостей.

наблюдений орбитальной обсерватории Chandra (NASA). Эта обсерватория в настоящее время имеет самое лучшее угловое разрешение среди всех существующих рентгеновских инструментов, а именно это свойство наиболее важно для решения загадки хребта Галактики.

Разрешение удалось!

Предварительные исследования области центра Галактики и галактической плоскости, проведенные с помощью уже существовавших наблюдений обсерватории Chandra, обнаружили очень хорошее согласие регист-

рации рентгеновского «населения» в окрестностях Солнца и в области центра Галактики, по меньшей мере в области светимостей, до которых «дотягивались» эти наблюдения (рис.7). Иначе говоря, наши оценки вклада слабых источников в свечение хребта Галактики, сделанные только по исследованиям окрестностей Солнца, верны. Таким образом, чтобы окончательно решить проблему свечения хребта Галактики, было необходимо лишь увеличить чувствительность наблюдений.

Для этого требовалось выбрать площадку на небе, в которой влияние межзвездного поглощения было бы минимальным. Проблема здесь состоит в том, что межзвездная среда в диске Галактики существенно препятствует прохождению рентгеновских лучей малых энергий, т.е. как раз там, где чувствительность обсерватории Chandra максимальна. Действительно, несмотря на довольно малую плотность межзвездного вещества в нашей Галактике (типичное значение плотности межзвездного вещества всего несколько частиц в кубическом

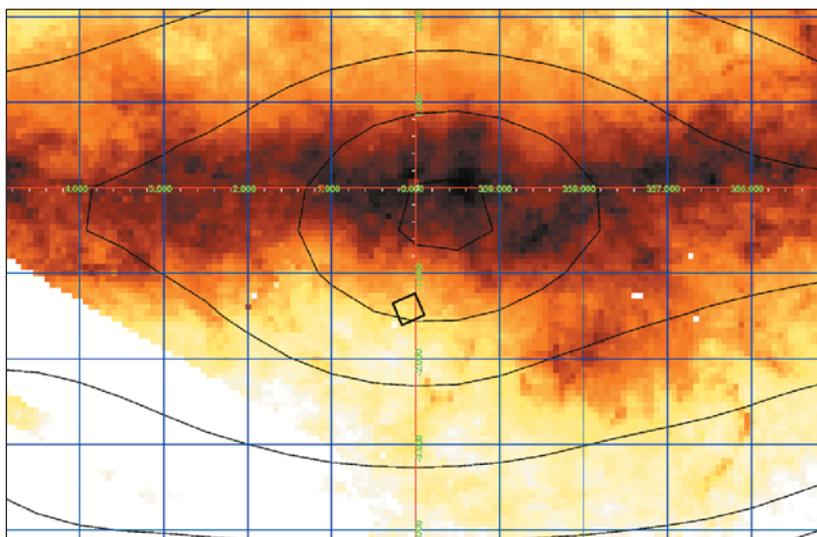


Рис.8. Карта межзвездного поглощения в центральной части Галактики [8]. Область неба, выбранная для глубоких наблюдений обсерватории Chandra, обозначена черным квадратом. Контурсы показывают яркость Галактики в инфракрасных лучах, т.е. дают распределение звезд в этой части неба.

сантиметре), расстояния в Галактике настолько велики — десятки тысяч световых лет, или 10^{22} см, — что на луче зрения накапливается большое число частиц, которые поглощают рентгеновское излучение. Фактически смотреть сквозь Галактику — это смотреть сквозь свинцовую пластину толщиной в несколько миллиметров! Поэтому, чтобы избежать существенных потерь в чувствительности наблюдений, была выбрана самая близкая к галактическому центру область с окном поглощения (рис.8).

Такие наблюдения общей длительностью около 12 дней (!) были проведены в 2008 г. (рис.9), с их помощью удалось, что называется, «забить последний гвоздь в гроб» загадки происхождения хребта Галактики. Чтобы подчеркнуть уникальность наблюдений, достаточно, наверное, сказать, что самые слабые обнаруженные рентгеновские источники дали за все время наблюдений лишь несколько фотонов — имели поток менее 10^{-17} эрг/с/см², что чуть больше, чем поток у поверхности Земли от 200-ваттной лампочки, расположенной на Венере!

Благодаря данным, полученным в этих наблюдениях, удалось показать, что более 88% излучения хребта разрешается на вклад отдельных рентгеновских источников [9]. Согласно оценкам, основная часть этих источников должна быть либо аккрецирующими белыми карликами, либо звездами с активными коронами. Оставшаяся малая доля

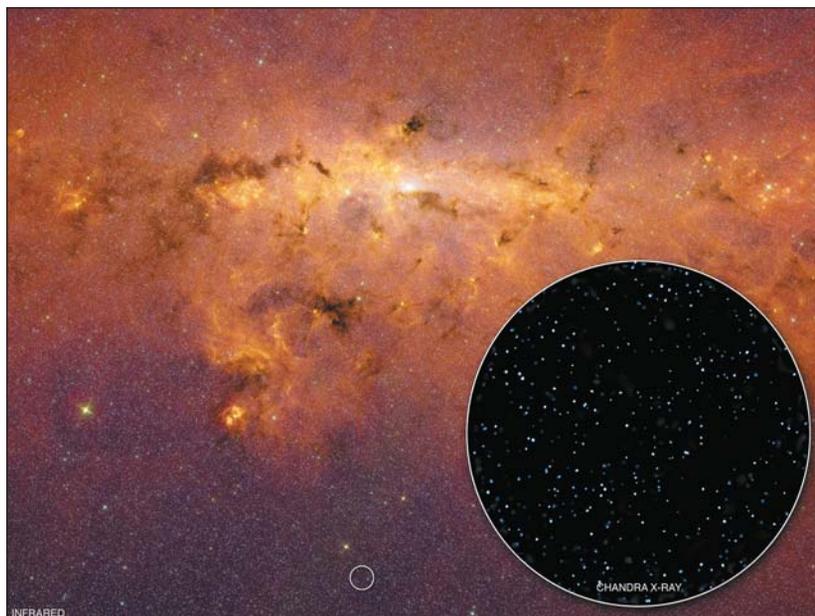


Рис.9. Область неба вблизи центра Галактики по данным наблюдений телескопа Spitzer (NASA) в инфракрасном диапазоне. Кружком показана область, наблюдавшаяся обсерваторией Chandra в течение 12 дней. На врезке показано изображение этой области в рентгеновских лучах.

излучения хребта может быть результатом сложения излучения еще более слабых объектов, не обнаруженных даже в этих сверхглубоких наблюдениях.

Таким образом, проблема неизвестного резервуара энергии Галактики, возникшая практически на заре эры рентгеновской астрономии, решена. Показано, что рентгеновское свечение хребта Галактики есть суммарное излучение огромного числа слабых рентгеновских источников, среди которых чувствительный вклад дают даже настолько рентгеновски слабые объекты, как наше Солнце. Пол-

ное число источников, которые заметно участвуют в свечении хребта во всей Галактике, более миллиарда!

Исследования, аналогичные описанным выше, явно показывают, насколько важно знать демографию различных объектов во Вселенной. Огромным шагом вперед в этом направлении должен стать рентгеновский обзор всего неба астрофизической орбитальной обсерваторией «Спектр-РГ», которая в настоящее время разрабатывается Россией совместно с Германией и запланирована к запуску в 2012 г. ■

Литература

1. Worrall D.M., Marshall F.E., Boldt E.A., Swank J.H. // *Astrophysical Journal*. 1982. V.255. P.111—121.
2. Warwick R.S., Turner M.J.L., Watson M.G., Willingale R. // *Nature*. 1985. V.317. P.218—221.
3. Koyama K., Makishima K., Tanaka Y., Tsunemi H. // *Publications of Astronomical Society of Japan*. 1986. V.38. P.121—131.
4. Revnivtsev M., Sazonov S., Gilfanov M. et al. // *Astronomy & Astrophysics*. 2006. V.452. P.169—178.
5. Sazonov S., Revnivtsev M., Gilfanov M. // *Astronomy & Astrophysics*. 2006. V.450. P.117—128.
6. Yamauchi S., Koyama K. // *Astrophysical Journal*. 1993. V.404. P.620—624.
7. Revnivtsev M., Molkov S., Sazonov S. // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2006. V.373. P.L11—L15.
8. Dutra C.M., Santiago B.X., Bica E.L.D., Barbuy B. // *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*. 2003. V.338. P.253—262.
9. Revnivtsev M., Sazonov S., Churazov E. // *Nature*. 2009. V.458. P.1142—1144.

Палеоклимат: дополнения к теории Миланковича

А.В.Бялко

В 20–40-х годах прошлого столетия сербский астроном Милетин Миланкович развил смелую (ввиду недостаточности на то время геологических данных) теорию, объясняющую природу климатических циклов [1]. В ее основе лежала асимметрия Земли — преобладание суши в Северном полушарии по сравнению с Южным. На суше во время похолодания образуются обширные ледники, увеличивающие альбедо планеты, т.е. долю отраженного солнечного света. Освещенность же северных широт существенно меняется вследствие вариаций астрономических параметров. Эксцентриситет Земли, сегодня равный 0.0167, в прошлом достигал величины 0.06, меняясь (непериодически) с характерным временем около 100 тыс. лет вследствие планетных возмущений. По той же причине направление оси вращения планеты по отношению к перигелию земной орбиты изменяется с периодом 41–42 тыс. лет. Когда планета медленно проходит афелий орбиты зимой Северного полушария, его инсоляция (средняя освещенность) мала и ледники существенно нарастают. За короткое лето вблизи перигелия они не успевают растаять из-за увеличившегося альбедо. Через 20 тыс. лет, когда на афелий приходится лето Северного полушария, в Южном ледники существенно не растут — кроме Антарктиды, там для них мало суши.



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

Компьютерное моделирование климата имеет несомненные успехи, главным образом по близкому к нам отрезку времени. Однако моделирование климатических циклов на основе теории Миланковича было не очень успешным. Причина неудач, по-видимому, в том, что физический механизм, управляющий климатом, основанный только на вариациях альбедо, недостаточен. Не удастся преодолеть основной недостаток теории Миланковича: в ней нет механизма выхода из ледниковых периодов.

За истекшие 70 лет наши знания о климатической системе существенно расширились. Заметно теплеет современный климат, и мы отчетливо сознаем, что это происходит под действием парникового эффекта от избыточного диоксида углерода CO_2 , который выбрасывается в атмосферу при сжигании угля, нефти и газа. Кроме того, с помощью бурения осадочных слоев и ледников собрана обширная база данных не только о температурах прошедших эпох, но и о содержании в атмосфере в те времена парниковых газов. Появилась возможность дополнить теорию Миланковича следствиями современных исследований палеоклимата.

Но прежде чем перейти к этим дополнениям, надо изложить общеизвестные положения, описывающие климатическую систему планеты.

Тепловой баланс Земли

Падающий на Землю поток солнечного излучения $W_0 = 1362 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ с точностью до последнего знака можно считать постоянным. Часть этой энергии отражается облаками и поверхностью без изменения частоты: современная величина альбедо Земли по измерениям яркости Луны в новолуние равна $A_0 = 0.297 \pm 0.005$. Несколько процентов

солнечного потока поглощается озоном и парниковыми газами самой атмосферы, а наибольшая доля — поверхностью, которая нагревает атмосферу снизу. Тепловой поток переносится вверх конвекцией и излучается в космос в микроволновой области со спектром, близким к спектру черного тела. Средняя температура излучения планеты в тепловом диапазоне (радиационная температура $T_{\text{рад}}$) легко вычисляется из равенства падающего и излучаемого потоков энергии:

$$T_{\text{рад}} = [W_0(1 - A_0)/\sigma]^{1/4} = 255 \text{ К.}$$

Здесь $\sigma = 5.6705 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$ — постоянная Стеффана—Больцмана. Ошибка из-за неточности современного альбеда меньше 0.5 К. Спектр этого излучения имеет максимум при длинах волн около 10 мкм.

В прошлом альbedo Земли A изменялось в более значительных диапазонах, большие пространства суши занимали ледники, хорошо отражающие свет. Но площадь океана, не покрытого льдом, менялась не очень сильно, поэтому альbedo планеты существенно не возрастало. С другой стороны, радиационная температура слабо зависит от альbedo, она пропорциональна $[(1 - A)/(1 - A_0)]^{1/4}$. Так, вариация альbedo на 10% приводит к изменению температуры всего на 1%, менее чем на 3 К.

В прошлом, как мы увидим, средняя температура земной поверхности T_0 менялась в диапазоне более 12°, неизменно оставаясь выше $T_{\text{рад}}$. Основных причин для этого две: это парниковый эффект и обмен энергией между атмосферой и океаном.

Парниковый эффект был предсказан в начале прошлого века С.Аррениусом. Он вызван присутствием в атмосфере газов, поглощающих в микроволновой области: диоксида углерода CO_2 , паров воды H_2O , метана CH_4 .

Эти три газа распределены в атмосфере неравномерно. Диоксид углерода почти равномерно перемешивается по всей тропосфере и стратосфере. Плотность насыщенного водяного пара при понижении температуры падает экспоненциально: снижение на 10° приводит к ее падению в два раза, поэтому концентрация паров неравномерна вдоль земной поверхности. Она резко спадает выше слоя облаков, а капельки жидкой воды не поглощают в микроволновой области.

Молекулы метана поглощают микроволновое излучение на один-два порядка сильнее, чем CO_2 и H_2O , но его атмосферная концентрация обычно в 400—600 раз меньше. Цикл метана очень сложен: он поступает в воду со дна океана; генерируется бактериями при разложении органики, поглощается другими бактериями; окисляется до CO_2 в океанской воде, содержащей растворенный кислород, а также окисляется в атмосфере под действием солнечного ультрафиолета. Очень важен следующий факт: в современном океане на глубинах от 300 до 600 м под небольшим слоем осадков находятся значительные по массе отло-

жения метангидрата $\text{CH}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Это твердое соединение находится в равновесии с растворенным в воде метаном, его отложения увеличиваются с понижением температуры и уменьшаются при ее росте или понижении давления.

Атмосфера излучает на высотах 9—12 км, где тропосфера переходит в стратосферу, там температура и равна радиационной. Разность между поверхностной и радиационной температурами тем больше, чем выше концентрации парниковых газов. К сожалению, точному расчету парниковый эффект пока не поддается. Спектры квантовых переходов для каждой из упомянутых молекул известны, они представляют собой множество тонких линий. Из-за частых столкновений с другими молекулами воздуха энергии этих переходов размываются вследствие принципа неопределенности, в результате частоток линий сливается в полосы поглощения. В газах с постоянным давлением и температурой спектры поглощения рассчитываются по сложным программам [2], но полная задача переноса излучения в реальной атмосфере пока не решена. Этот факт дает ряду ученых и не очень ученых людей возможность вообще его отрицать. Однако экспериментальные измерения поглощения однозначно доказывают значимость парникового эффекта.

Термохалинная циркуляция. Системы, через которые проходит поток тепловой энергии, как правило, не находятся в тепловом равновесии. Существенную роль в тепловом балансе планеты играет Мировой океан, теплоемкость которого на три порядка больше теплоемкости атмосферы. Он в принципе может служить как тепловым источником, так и тепловым стоком для атмосферы, результат зависит от сложной картины его течений. Средняя температура океана в современную эпоху (276 К) заметно ниже поверхностной (287 К = 14°C). Это говорит о том, что океан значительное время работал как источник тепла, согревая атмосферу. На Земле есть три области, где холодные соленые воды уходят с поверхности в глубины океана: одна расположена южнее Гренландии и еще две — у побережья Антарктиды. Происходит это так: Гольфстрим приносит теплые соленые воды на север, полярной зимой они охлаждаются, но при этом не успевают перемешаться с окружающими менее солеными водами и погружаются*. Есть, правда, и обратный пример: в Средиземное море через Гибралтар поступает относительно холодная вода Атлантики, она течет по поверхности на восток, по пути становится все более соленой от испарения. Между Критом и Кипром она погружается, течет на запад, и, наконец, теплый, но очень соленый придонный поток вытекает в Атлантику через тот же Гибралтар.

* Аналогичного явления с течением Куроиси в Тихом океане не происходит, это говорит о том, что для реализации погружения требуется определенное сочетание береговых линий и рельефа дна.

Отсюда очевидно следует, что Средиземноморье приносит тепло в Мировой океан за счет охлаждения атмосферы региона. Но океан в целом холоднее атмосферы, и это значит, что вся система медленных термохалинных течений положительно влияет на тепловой баланс приземной части атмосферы. Поэтому и глобальный баланс, на основе которого была сделана оценка радиационной температуры, может не выполняться точно в каждый момент времени, он будет справедлив лишь в среднем, на временном интервале, длительном настолько, чтобы прошла релаксация океана к астрономически меняющейся инсоляции планеты и содержанию парниковых газов в ее атмосфере.

Подтверждение такого описания климатической системы можно получить при анализе данных по климату плейстоцена, полученных бурением льдов Гренландии и Антарктиды. Эти данные позволяют сделать и ряд далеко идущих выводов.

Вариации климата плейстоцена

Отложения льда на куполах Антарктиды и Гренландии несут важную информацию о климате прошлого. Сезонная слоистость льда позволяет установить его возраст. Атмосферные концентрации диоксида углерода и метана в момент отложения

устанавливаются анализом пузырьков и газов, растворенных во льду. Наконец, среднегодовая температура вычисляется по отклонениям концентрации дейтерия воды. (У тяжелой воды DHO иная зависимость плотности паров от температуры конденсации, чем у H₂O.) Недавно подробные данные таких анализов, выполненные несколькими исследовательскими группами, были опубликованы в одном номере журнала «Nature» [3, 4].

На графиках рис.1 можно заметить, что:

— во-первых, взаимозависимость трех переменных (T , $[CO_2]$, $[CH_4]$) между собой весьма значительна (химической формулой в квадратных скобках обозначается атмосферная концентрация газа);

— во-вторых, восемь климатических циклов, продолжительностью примерно по 100 тыс. лет каждый, в целом подобны друг другу — они начинаются быстрым ростом, имеют острые максимумы, затем следует пульсирующее падение, как правило, заканчивающееся низким застоем для температуры и диоксида углерода, но провалом до глубоких минимумов концентрации метана;

— в-третьих, размах вариаций относительно средних значений максимален для $[CH_4]$, а минимален для $[CO_2]$;

— наконец, при рассмотрении графиков рис.1 возникает естественная мысль: вариации темпе-

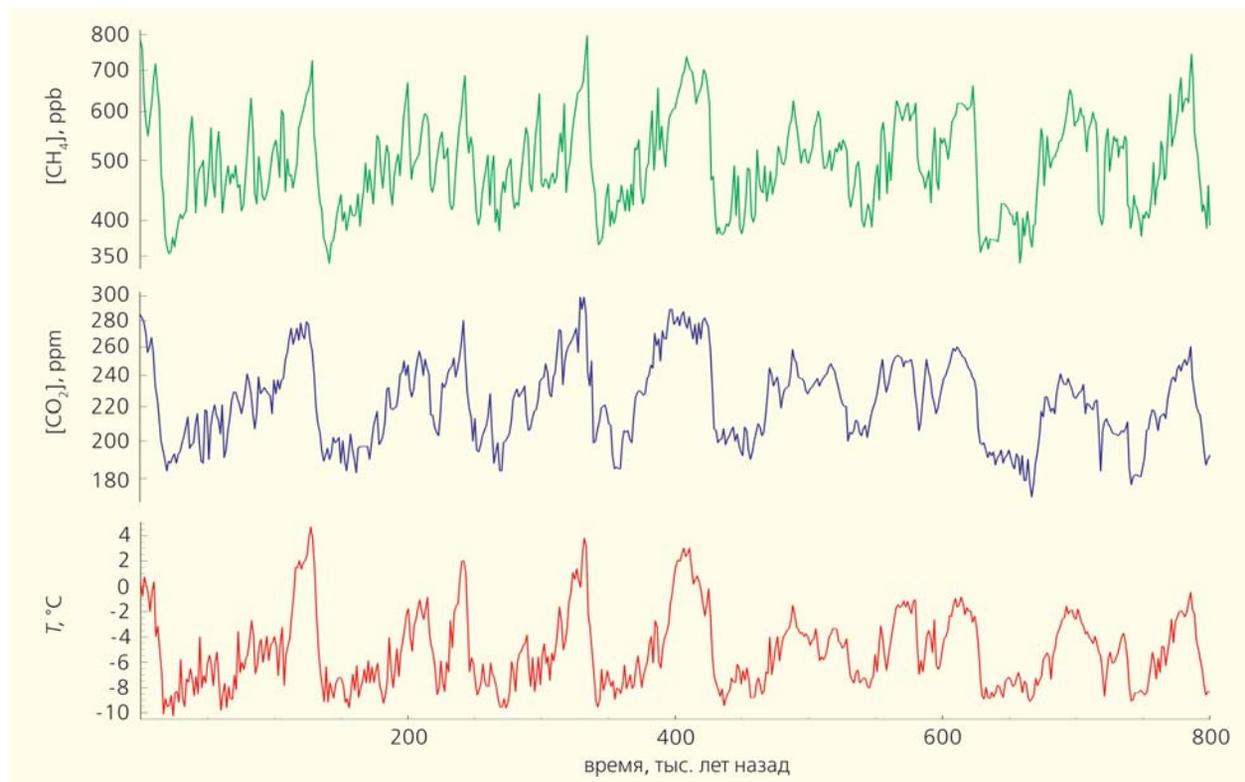


Рис.1. Результаты бурения антарктического льда — история климата за последние 800 тыс. лет. Красная линия — температура, отсчитанная от современной; синяя — концентрация CO₂ в частях на миллион (ppm); зеленая — концентрация CH₄ в частях на миллиард (ppb).

ратуры определяются изменением концентраций парниковых газов. Далее мы увидим, что это заключение по меньшей мере преждевременно, а возможно, и неверно.

Средняя температура Антарктиды за 800 тыс. лет оказалась на 5.1°C ниже ее современной температуры, а максимальная — на 4°C выше. По моему мнению, эти колебания — следствия изменчивого теплообмена между океаном и атмосферой, роль альbedo вторична.

Публикация данных в «Nature» подвела итог колоссальным по объему работам по бурению, химическому и изотопному анализу. Однако стандартный математический анализ этих зависимостей почему-то не был опубликован, хотя убежден, что он известен авторам работ. Возможно, причина тому в некоторых странностях результатов, они не поддаются очевидному истолкованию. Проведем математическую обработку трех временных зависимостей.

Анализ климатических данных

Графики температуры и концентраций парниковых газов из публикаций [3, 4] были оцифрованы, а полученные ряды математически обработаны (рис.2).

Автокорреляционные функции зависимостей $T(t)$, $[\text{CO}_2](t)$, $[\text{CH}_4](t)$ выглядят подобными друг другу. Они имеют отрицательную производную в нуле — это означает, что эти функции недифференцируемы по времени. Автокоррелятор диоксида углерода спадает на малых временах медленнее остальных корреляционных функций, т.е. $[\text{CO}_2](t)$ — самая «гладкая» из трех переменных. Причина этого прояснится в дальнейшем — у диоксида углерода три разных источника: океан, суша и окисление метана. Коррелятор метана, напротив, спадает круто, это свидетельствует о том, что он более непредсказуем. Корреляторы переходят к отрицательным значениям в районе

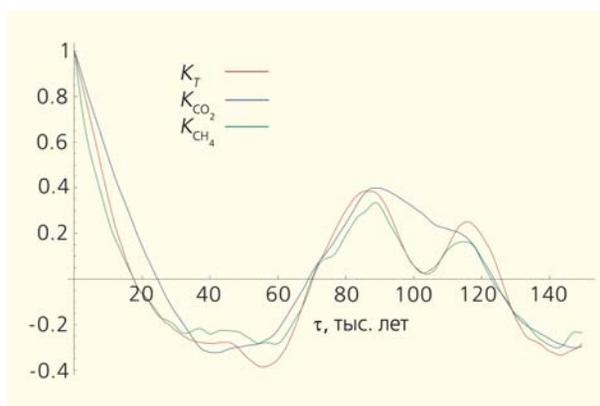


Рис.2. Автокорреляторы температуры (красная линия), диоксида углерода (синяя) и метана (зеленая).

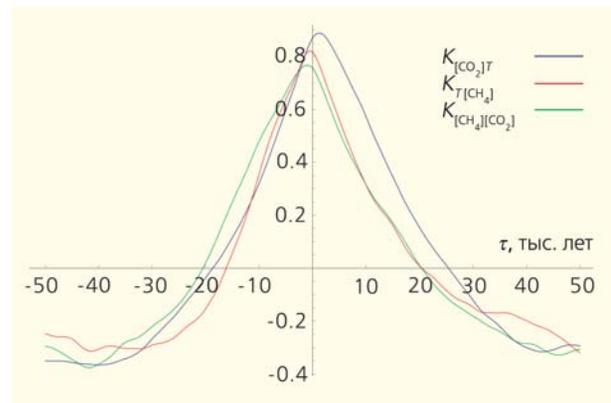


Рис.3. Взаимные корреляторы: диоксида углерода — температуры (синяя линия), метана — температуры (красная) и метана — диоксида углерода (зеленая).

20 тыс. лет; имеют широкие минимумы в диапазоне 40—60 тыс. лет, затем максимумы около 90 тыс. лет, а парниковые газы — еще и по одному максимуму вблизи 120 тыс. лет. Минимум в районе 40 тыс. лет несколько удивляет, поскольку по теории Миланковича здесь должен бы проявиться максимум. Он действительно возникал, но на временном отрезке 2.7—1.3 млн лет назад [5]. В интервалах 1.3—0.7 и 3.2—2.7 млн лет присутствуют обе моды колебаний климата.

Взаимные корреляции (ковариации) этих зависимостей еще более содержательны. Они приведены с более высоким разрешением по времени, поскольку сдвиг максимумов этих функций вперед или назад относительно нуля говорит о том, какая из зависимостей оказалась опережающей, а какая — запаздывающей, и на какие характерные времена. Из рис.3 видно, что на малых временах зависимости температуры и $[\text{CO}_2]$ тесно связаны между собой, причем максимум ковариации, равный 0.88, достигается с опережением температуры примерно на 2 тыс. лет относительно $[\text{CO}_2](t)$. Точность вычисления запаздываний и опережений, к сожалению, пока невелика, около 0.5 тыс. лет. Температура и концентрация метана оказались почти синхронны, но максимум ковариации несколько ниже, он равен 0.82. Наконец, концентрация CO_2 отстает по времени от $[\text{CH}_4]$ в среднем на 1.5 тыс. лет с максимумом 0.74. Логику этого запаздывания можно объяснить процессом окисления метана в диоксид. Однако то обстоятельство, что содержание CO_2 в атмосфере преимущественно следует за температурой, представляет собой парадокс, противоречащий самой идее парникового эффекта как главного регулятора температуры поверхности. По идее, должно было быть наоборот: тепловая инерция океана требует некоего запаса времени, чтобы температура его поверхности достигла величины, которая соответствует почему-либо изменившейся концентрации главного пар-

никового газа. Отложим пока изложение гипотез, поясняющих этот парадокс.

Дифференциальные распределения. Корреляция и ковариации исчерпывающе описывают случайные зависимости, если вариации переменных распределены по нормальному, гауссовому закону. Проверим, окажется ли статистика палеоклимата достаточно близкой к гауссовой. С этой целью строились ранговые распределения трех переменных: T , $[CO_2]$ и $[CH_4]$; их нормировка дает интегральные распределения (рис.4). Они аппроксимировались полиномами 10-го порядка, которые затем дифференцировались. При этом методе спадающие края распределений оказываются недостоверны, но положения максимумов определяются с достаточной точностью.

Нормированное дифференциальное распределение температур обнаруживает два максимума:

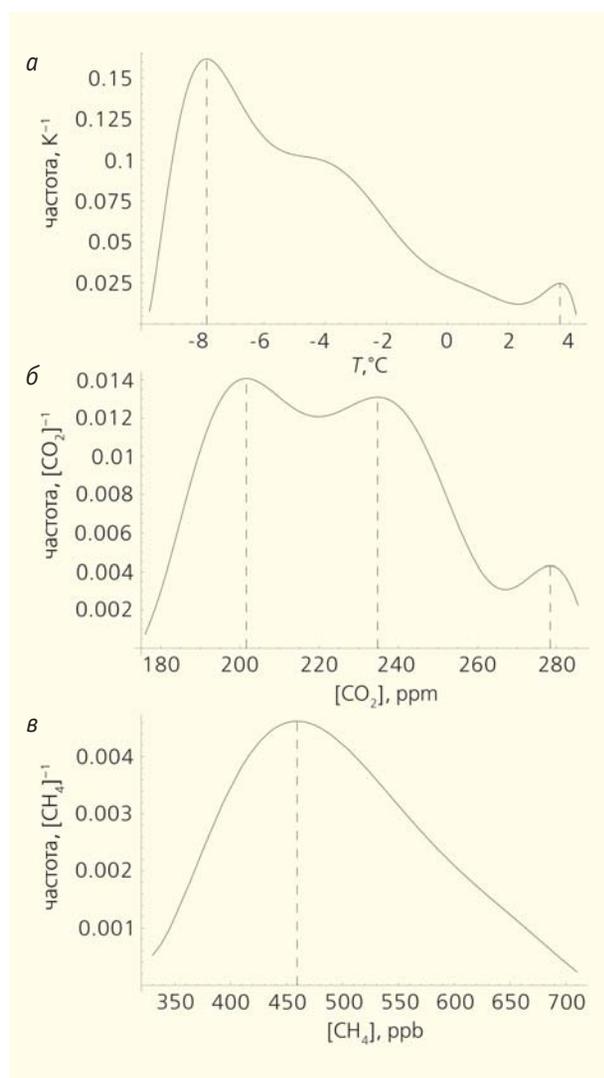


Рис.4. Нормированные дифференциальные распределения: температуры (а), диоксида углерода (б), метана (в).

при $-7.8^{\circ}C$ и при $+3.7^{\circ}C$. Со стороны низких температур распределение близко к пороговому, что логично объяснить тем, что среднегодовая температура не может оказаться ниже радиационной температуры планеты. Еще более впечатляющим (и негауссовым) выглядит дифференциальное распределение концентрации диоксида углерода, у него выявляются три максимума при концентрациях, равных 202, 236 и 278 ppm. Отметим, что и в распределении температур присутствует «вздутие» между двумя максимумами. Напомним, что функции $T(t)$ и $[CO_2](t)$ оказались хорошо скоррелированными. Это говорит о возможном наличии трех разных механизмов, приводящих к доминирующим температурам и концентрациям CO_2 . Наконец, распределение концентрации метана оказалось наиболее близким к нормальному (но все же асимметричным), оно имеет один максимум при $[CH_4] = 460$ ppb.

Регрессии (статистические взаимозависимости переменных) также были вычислены. Но поскольку обнаружены существенные отклонения от нормальности распределений, значения коэффициентов регрессий не могут надежно отражать реальные взаимосвязи. Регрессии следовало бы вычислять отдельно для каждого из процессов, приводящих к формированию трех максимумов распределений.

Подводя итоги стандартного статистического анализа, можно сделать предварительные выводы. По-видимому, состояние климатической системы Земли зависит сразу от нескольких геологических и биологических процессов, их воздействие принципиально различается при низких и высоких температурах. При изменениях климата наиболее странно выглядит поведение всех переменных в периоды быстрого роста, достижения максимумов и последующего спада. Загадочна непредсказуемость таких выбросов. Чтобы яснее представлять себе развитие событий в эти отрезки времени, построим трехмерные диаграммы в переменных $\{T, [CO_2], [CH_4]\}$ отдельно для каждой терминации — перехода из ледниковых периодов в межледниковья.

Космический дриас

Начнем с самого близкого к нам ледникового периода, закончившегося 20 тыс. лет назад, и проследим, как происходил переход к современному климату. Рис.5 дает трехмерную проекцию событий, на которой видно, как менялись во времени концентрации парниковых газов и температура. Обратим внимание на резкий излом в средней части графика.

В истории последнего потепления есть особое событие, произошедшее около 13 тыс. лет назад, оно называется «поздний дриас» (англ. «Younger Dryas»). На нашем графике он отображен обрат-

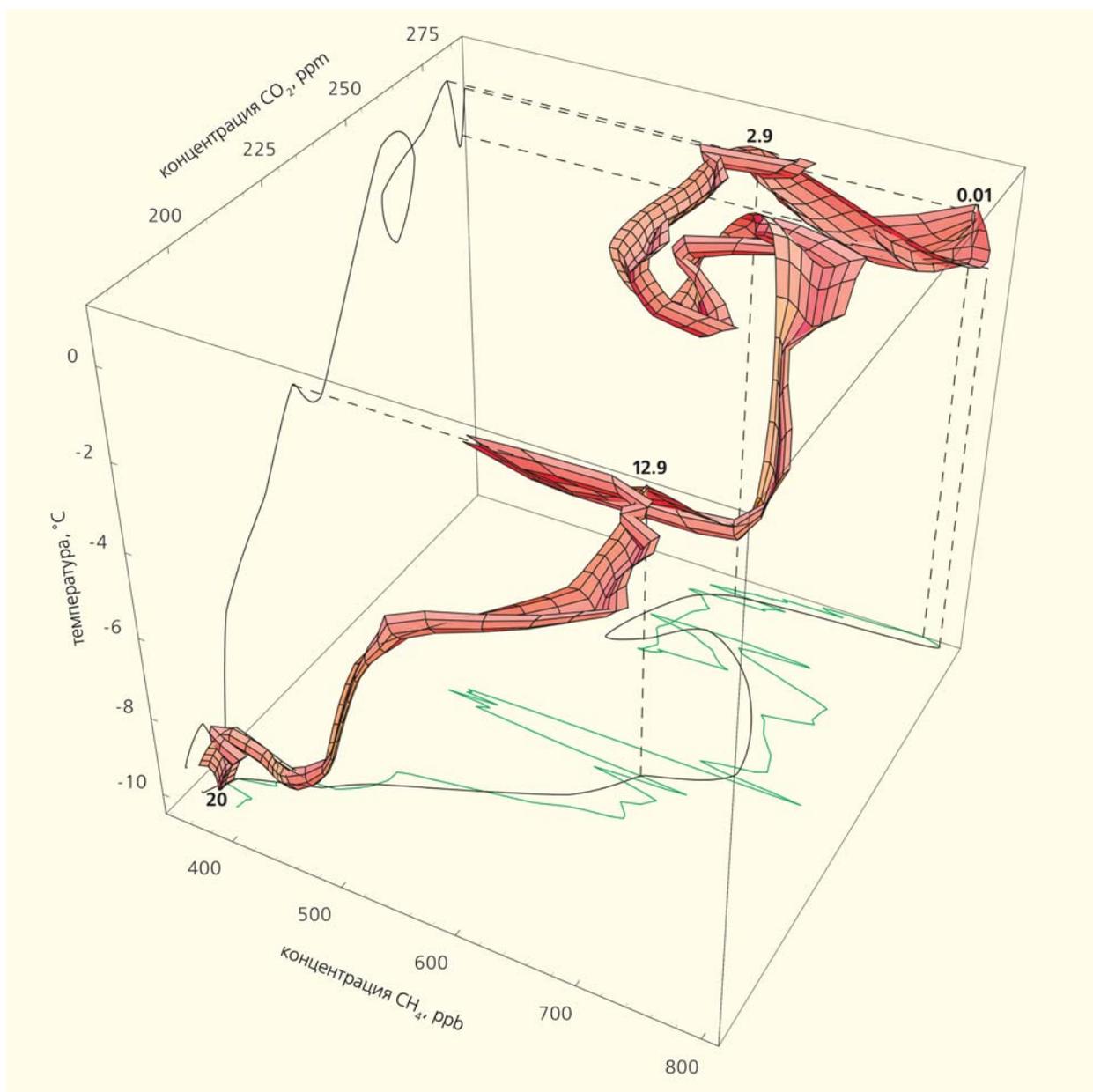
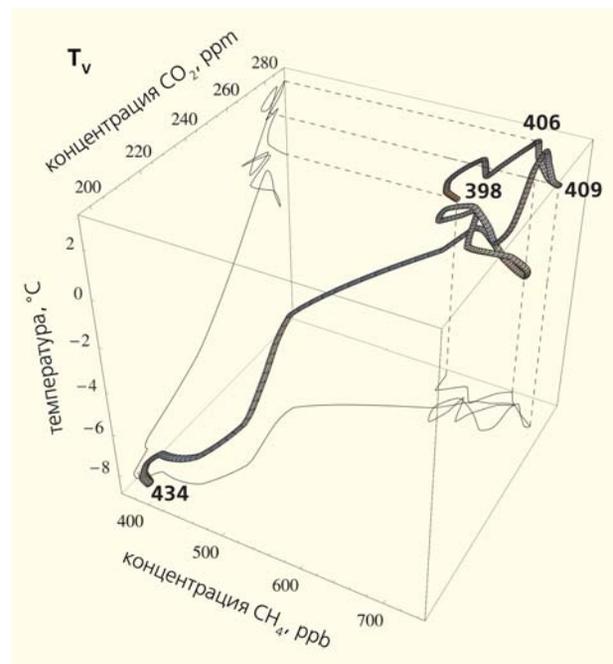
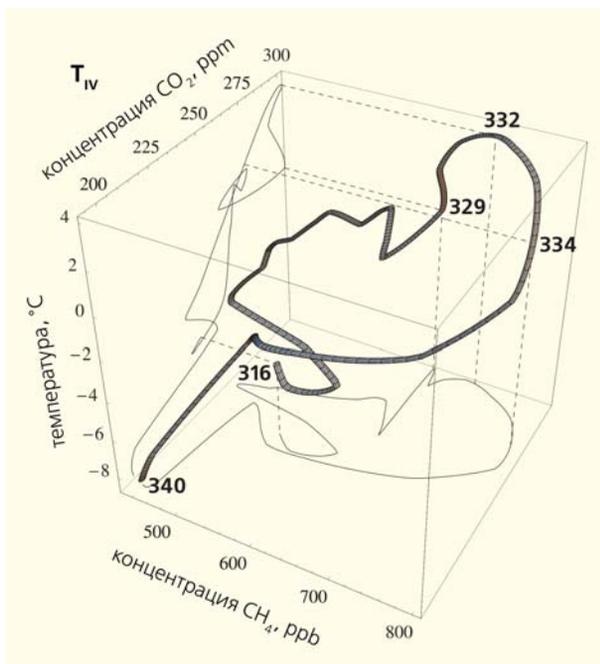
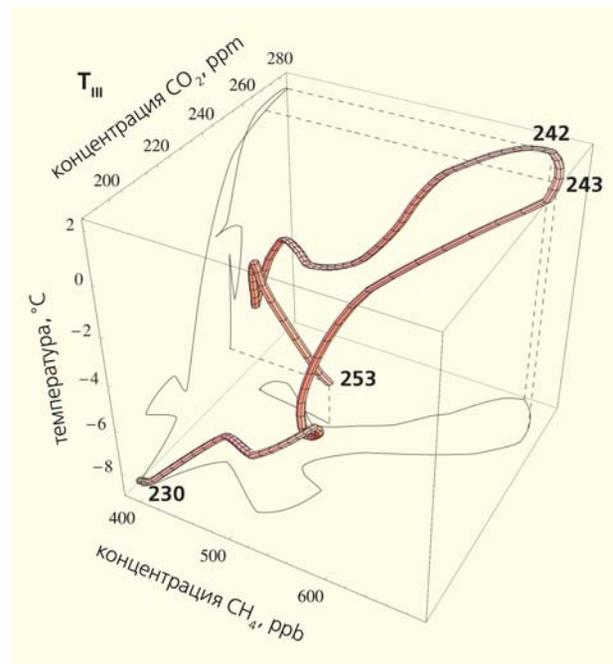
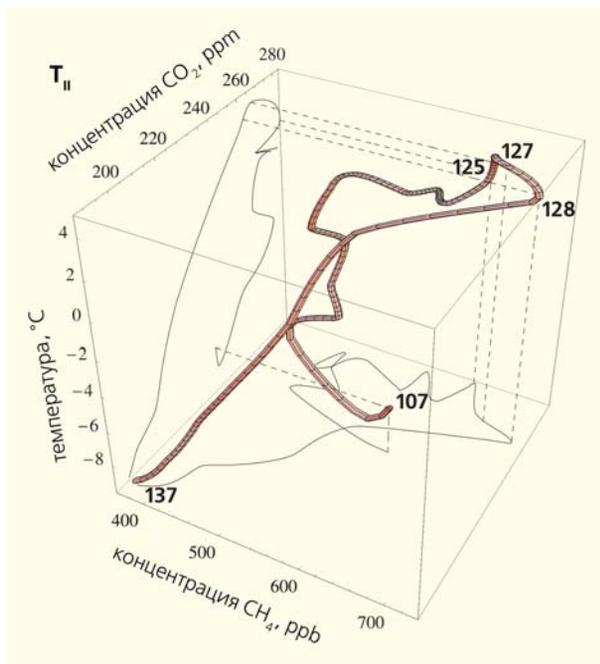


Рис.5. Потепление голоцена. Три оси соответствуют концентрации метана, концентрации диоксида углерода и температуре. Временной ход событий можно проследить по меткам времени (в тысячах лет до 1950 г.) особых точек, а также по членению траектории: каждый ее малый прямолинейный отрезок имеет продолжительность 0.2 тыс. лет. Температура и концентрация CO_2 показаны с учетом ошибок измерений; концентрации CH_4 — соединенными между собой данными льдов Антарктиды и Гренландии. Для лучшего восприятия трехмерной картины траектория потепления спроектирована на две плоскости: $\{T, [\text{CO}_2]\}$ и $\{[\text{CO}_2], [\text{CH}_4]\}$. На последней плоскости гренландская зависимость метана и диоксида дана зеленым цветом.

ным ходом температуры и мощным возмущением концентрации гренландского метана. Давно известно, что около 12.6 тыс. лет назад огромное озеро, образовавшееся посреди ледника, покрывавшего большую часть Северной Америки, растопило ледниковую плотину и быстро вылилось в Атлантический океан, промыв широкий и глубокий эстуарий реки Св.Лаврентия. Затем последовало

заметное похолодание, продолжавшееся около тысячи лет, после которого восстановилось потепление климата.

В последнее время появилось дополнительное (еще не полностью достоверное) объяснение позднего дриаса. Возникла обоснованная раскопками гипотеза [6], что 13.9 тыс. лет назад над Северной Америкой взорвалась комета, по массе в де-



сятки раз превосходящая Тунгусский метеорит. Энергия взрыва вызвала кратковременный, но повсеместный пожар на поросшем травой пространстве южнее ледника, а выпавший пепел вместе с пылью от самого метеорита привел к ускоренной таянию ледника. При взрыве крупного метеорита происходит загрязнение атмосферы пылью, из тропосферы она моментально вымывается дождями, но в стратосфере задерживается на несколько лет. Аналогичное явление наблюдается при мощных извержениях вулканов, когда их выбросы достигают высот стратосферы. Эта пыль

рассеивает солнечный свет, увеличивая альбедо, отчего наступает краткое (2–3 года), но глобальное похолодание. На климате планеты оно, однако, почти не сказывается, по крайней мере в тех случаях, когда похолодание не приводит к экстинкции, массовой гибели части биосистемы.

Так и образовалось ледниковое озеро, которое через некоторое время вылилось поверх соленых вод Атлантики. Для наших задач важна возможность с помощью этого события дать логичное объяснение последовавшему похолоданию. Пресная вода, покрывая слоем порядка

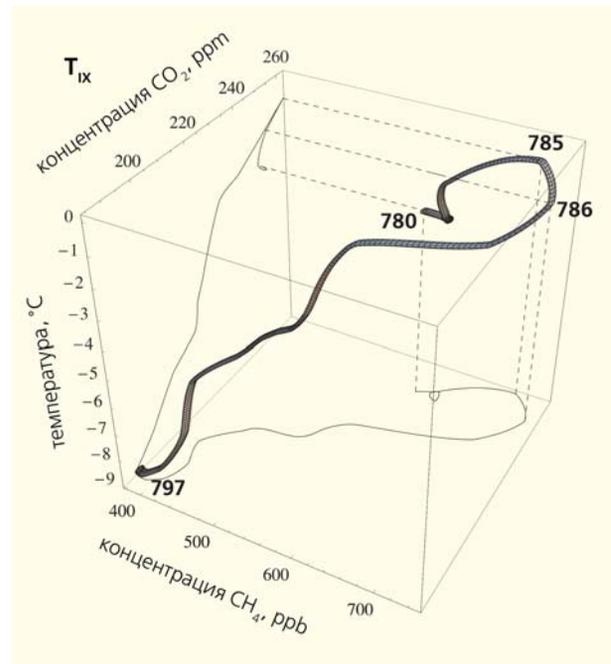
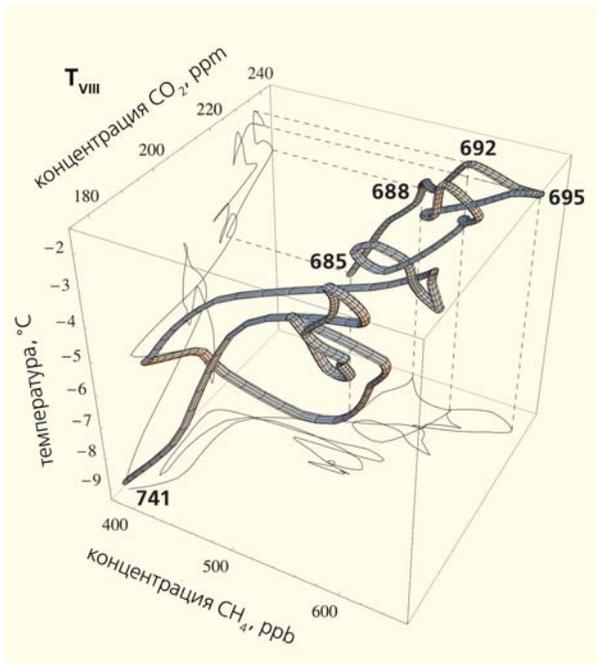
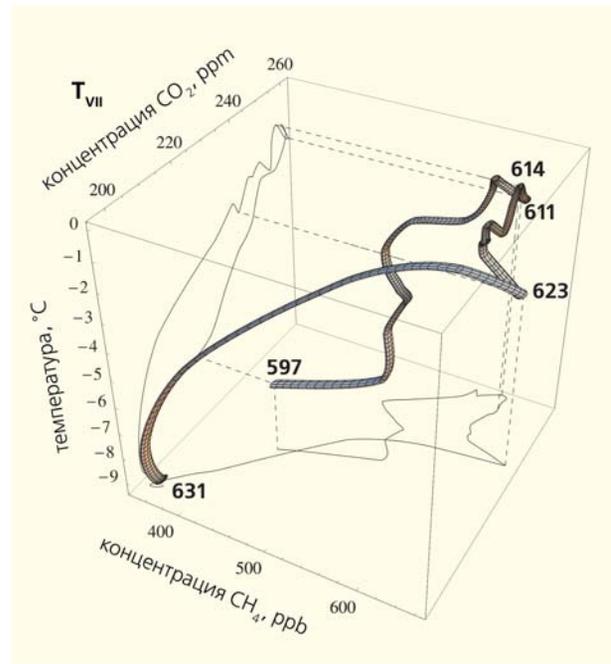
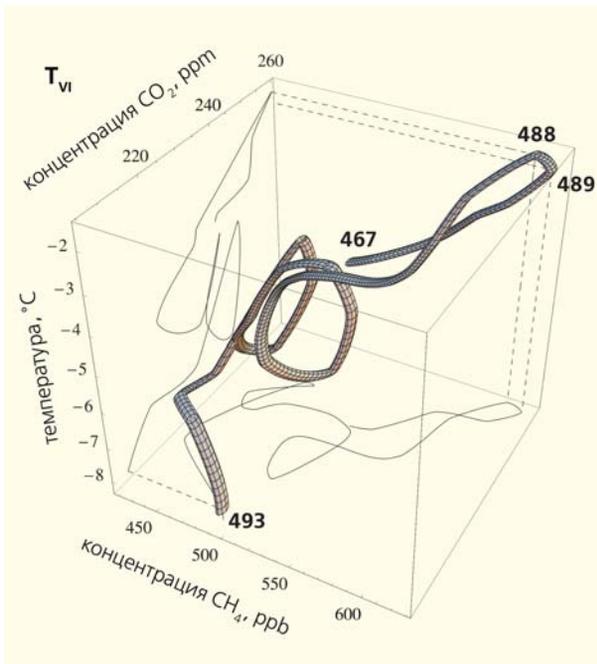


Рис.6. Терминации ледниковых периодов T_{VI} — T_{IX} . Обозначения те же, что и на рис.5, но толщина линии пропорциональна ошибкам измерений всех переменных, ее окраска соответствует ориентации.

метра северную часть Атлантического океана, перекрыла собой и теплые соленые воды Гольф-стрима. Это воспрепятствовало их охлаждению полярными зимами, а следовательно, устранило возможность их погружения. Как уже объяснялось, именно этот сток холодных вод в глубины Мирового океана вызывает относительное потепление в Северном полушарии. Вот почему

в течение примерно тысячи лет позднего дриаса происходило похолодание. Оно закончилось, когда распресненные поверхностные воды перемешались ветрами и частично вмерзли во льды Северного океана.

Посмотрим теперь на удивительное поведение концентрации гренландского метана в период позднего дриаса: резкое падение в его начале и не

менее крутой всплеск в конце. Прежде всего надо пояснить, что концентрации метана в Северном и Южном полушариях имеют право на довольно сильные различия. Дело в том, что для выравнивания концентраций часть метана должна пересечь экватор. Однако расходящиеся от экватора пассаты не дают возможности перемешивания воздуха в нижней части тропосферы, а на больших высотах метан быстро окисляется под действием солнечного ультрафиолета. В начале позднего дриаса пресные, обогащенные кислородом воды растаявшего ледника блокировали выход метана из океана в атмосферу. В этот же период отмечен небывало активный рост отложений карбонатов на средних глубинах Атлантики [7]. По окончании позднего дриаса возобновилось погружение охлажденных соленых вод Гольфстрима, стала нарастать температура поверхности, а концентрация метана скачком вернулась на продолжение прежней зависимости.

В целом этот эпизод похолодания продолжался около 2 тыс. лет, можно сказать, что общее климатическое потепление голоцена он задержал, но не отменил.

Выходы климата из эпох оледенения

Сравним между собой трехмерные графики девяти глобальных потеплений, прошедших за последние 800 тыс. лет. В принятых геологических обозначениях эти промежутки времени соответствуют терминациям $T_I - T_{IX}$ и морским изотопным стадиям 1, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 соответственно. Отметим общие особенности этих событий (рис.6).

Они начинаются быстрым ростом всех переменных (T , $[CO_2]$ и $[CH_4]$), их совместное нарастание (иногда с обратными экскурсиями) продолжается от 8 до 20 тыс. лет. Первым своего максимума достигает концентрация метана, через несколько тысяч лет проходят свои максимумы температура и концентрация диоксида углерода. Разности времен между этими максимумами даны в таблице. Большинство разностей невелико, некоторые равны нулю, но отрицательные значения не обнаружены. Конечно, за это утверждение полностью поручиться нельзя, поскольку точность ошибок измерений и обработки данных составляет около 0.5 тыс. лет, но все же подмеченную закономерность можно рассматривать как статистически значимую (таблица).

Таким образом, детальное рассмотрение процессов выхода климата из эпох оледенения подтверждает особенность, подмеченную при анализе взаимных корреляций: концентрация метана опережает температуру, а концентрация диоксида углерода от нее немного отстает. То обстоятельство, что $[CO_2]$ при резком подъеме следует за $[CH_4]$, в принципе еще можно бы объяснить окислением метана, но логика парникового эффекта требует

отставания температуры от концентраций газов при их росте. Парадокс налицо.

Завершение теплых периодов (интергляциалов) происходит, казалось бы, более логично: высокие температуры и концентрации диоксида углерода стимулируют возрастание фотосинтеза и переход углерода из атмосферы в гумус и торф болот. Уменьшение парникового эффекта начинает понижать температуру поверхности. Однако, как будет видно в дальнейшем, потепления не всегда заканчивались так безобидно.

Какие же механизмы могут приводить к такой последовательности событий?

Механизмы климатических переходов

Начнем с описания климатической системы в периоды максимального оледенения, в моменты, предшествующие терминациям (левые нижние положения на графиках рис.5, 6). Из-за массового скопления льда на суше уровень океана в эти времена падал на 100—120 м. Его средняя соленость при этом возрастала с современного значения 3.5% до 3.6%. При низкой температуре земной поверхности примерно вдвое меньше современной была скорость испарения. На сушу выпадало мало дождей и снега, кроме того, осадки аккумулировались в ледниках. Речной сток с суши в океан в течение ледниковых периодов был существенно меньше сегодняшнего. Вся система конвекции — и атмосферы и океана — в ледниковые периоды была менее интенсивной, чем сегодня, можно сказать — застойной.

Поток тепла земных недр пренебрежимо мал по сравнению с мощностью солнечного излучения, падающего на земную поверхность $W_0(1 - A) \sim 10^3$ Вт/м². Но атмосфера быстро уводит этот поток энергии от поверхности, переизлучая его в космос, а дно океана от поверхности далеко. Поэтому при изучении динамики океана нельзя пренебрегать потоком тепла земных недр через его дно. В среднем по океану он составляет $W_1 = 0.1$ Вт/м² [8] и не менялся последние десятки миллионов лет.

Таблица

Разности моментов максимумов T , $[CO_2]$ и $[CH_4]$ для 8 терминаций ледниковых периодов, тыс. лет

	$\Delta t([CH_4] - T)$	$\Delta t(T - [CO_2])$
T_{II}	1	2
T_{III}	1	0
T_{IV}	2	3
T_V	3	0
T_{VI}	1	0
T_{VII}	9	3
T_{VIII}	3	4
T_{IX}	1	0
Среднее	3.5	1.5

Оценим, за какое время такой поток энергии прогреет всю толщу океана (средняя глубина $H = 3730$ м), скажем, на $\Delta T = 1^\circ\text{C}$. Простая оценка дает: $\Delta t_1 = c\rho H\Delta T/W_1$ (здесь c — теплоемкость и ρ — плотность воды). Ответ: 5 тыс. лет. Не много, но сравнимо с длительностью ледниковых периодов. Это означает, что понижение стока холодных вод в глубь океана способно кардинально изменить его структуру: воды океана могут достаточно быстро прогреться теплом земных недр, пусть не повсеместно, но локально. Суть основной гипотезы статьи в том, что так оно и было. Исследование палеотемператур глубинных вод океана [5] показывает, что за последние 900 тыс. лет их потепление действительно опережало потепление поверхности на 11 ± 5 тыс. лет.

Падение давления в океане из-за понижения его уровня и одновременный рост температуры воды нарушают равновесие твердых газгидратов (рис.7). Сегодня выход метана из подводных отложений приводит к его растворению в воде, затем окислению, и до поверхности выделяющийся на глубине метан почти нигде не доходит. Однако в застойном океане ледниковых периодов быстрый прогрев мог спровоцировать подъем метана к поверхности потоком пузырьков. Мало того что такое «вскипание» быстро пополняет концентрацию атмосферного CH_4 , оно увлекает к поверхности теплые глубинные воды. Каждый килограмм метана, перешедший из газгидрата в атмосферу, выводит на поверхность примерно 1400 кг придонных вод. Вместе с одновременным компенсирующим погружением поверхностных холодных вод в других частях океана массовое шампанирование метана способно привести к внезапному глобальному потеплению. Во время ледниковых эпох холодная поверхность океана поглощала из атмосферы диоксид углерода. Поэтому пузырьковое выделение метана обогащает атмосферу сразу всеми парниковыми газами.

Такая концепция объясняет наблюдаемую последовательность максимумов при терминациях T_1 — T_{1x} : действительно, вслед за метаном растет температура, последним наступает максимум диоксида углерода. Концентрация метана в атмосфере после максимума быстро убывает: во-первых, потому что при таянии ледников поднимается уровень океана, растет давление и прекращается разложение газгидратов; во-вторых, метан атмосферы окисляется в CO_2 . Но чем же вызван резкий спад после максимумов (близких по времени) температуры и концентрации диоксида углерода? По видимому, при максимальных значениях (2 — 4° и 280 — 300 ppm) происходило быстрое нарастание биомассы в океане, поглотившее избыток CO_2 и понизившее парниковый эффект. Но почему именно в океане, а не на суше?

Вернемся к рис.4. Как уже отмечалось, распределение вероятностей концентраций диок-

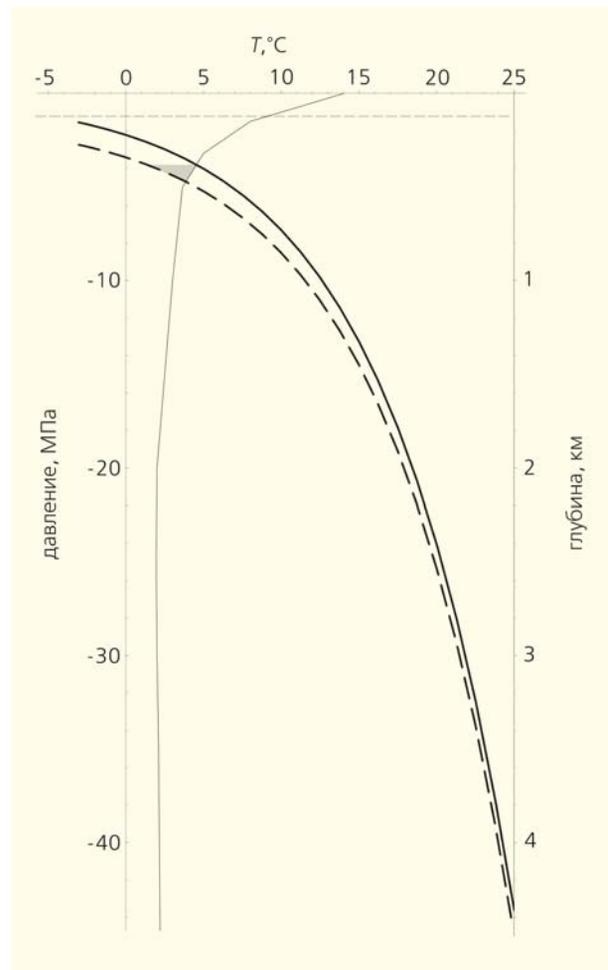


Рис.7. Кривая равновесия растворенного метана с метангидратом (жирная линия) и типичная зависимость температуры от глубины (тонкая). В ледниковые периоды (уровень океана и кривая равновесия даны пунктиром) отложения метангидрата становятся неустойчивыми — серая область.

сида выявляет три максимума (у температуры два с половиной): два высоких при низких и средних значениях и один небольшой при высоком. Первые максимумы очевидно соответствуют выходу из ледниковых периодов. Второй максимум распределения $[\text{CO}_2]$ и «вздутие» температуры соответствуют верхним состояниям при часто повторяющихся колебаниях между ледниковыми периодами и умеренными потеплениями (обратите внимание на два с половиной оборота при терминации T_{vi} , при уходе в ледниковые периоды такие экскурсы часты). Единственное разумное объяснение совместных по времени максимумов при высоких значениях температуры и $[\text{CO}_2]$ таково: на суше происходит массовое выгорание торфа и древесины, а диоксид не успевает усваиваться океаном. Этот процесс необязательно считать пожаром, возможен

и бактериальный распад, быстрое гниение. После выгорания минеральные остатки разложения смываются дождями в море, где сразу начинается «цветение» биомасс.

У читателя, по-видимому, уже возник вопрос, насколько справедливой кажется сегодня теория Миланковича на фоне дополнений? Ответ таков: она верна статистически, климат действительно варьирует с периодами, близкими к 41 или 100 тыс. лет. Но механизм воздействия планет на климат, наверное, несколько иной. Юпитер, Венера возмущают орбиту Земли, меняют ее эксцентриситет, но есть еще одно небесное тело, влияющее на наш климат, — Луна. Возможно, Миланкович признавал, что ее также следует учитывать, но, в отличие от движения планет, которое он мог рассчитать на миллионы лет назад, положение лунной орбиты удастся предсказать на существенно меньшие времена.

Влияние Луны на земные процессы значительно. Начать с того, что сама прецессия земной оси наполовину вызвана Луной. Чандлеровское движение оси планеты находится в резонансе с колебаниями эксцентриситета лунной орбиты. Статистика подтверждает воздействие нашего спутника на осцилляции типа Эль-Ниньо и прямо на погоду [9]. В те периоды, когда под действием планетных возмущений возрастает эксцентриситет земной орбиты, одновременно растут эксцентриситет и наклон орбиты Луны. И если сегодня движение Луны отражается на погоде, то больший эксцентриситет при длительном действии мог быть триггером переворотов океана. Такое взаимодействие Луны с земным океаном усиливало бы планетные возмущения, учтенные Миланковичем. Приведен-

ные соображения, конечно, требуют подробного исследования.

Что век грядущий нам готовит?

История палеоклимата поучительна, но, к сожалению, не дает нам весомых оснований для уверенного предсказания климата даже ближайшего будущего. Последние миллионы лет атмосфера никогда не находилась в состоянии, близком современному, не наблюдалось такой высокой концентрации CO₂, которая образовалась за последние 100 лет в результате развития энергетики. Парниковый эффект неизбежно будет нарастать минимум лет 20 просто в силу инерции экономики, использующей ископаемое топливо. Потепление климата продолжится, и следующее поколение увидит Ледовитый океан, полностью свободный ото льда в конце летнего сезона. Спровоцирует ли его потепление массовое выделение метана из газгидратов из отложений на его дне — неизвестно.

Строить климатические прогнозы далее 40–50-х годов текущего столетия, пожалуй, пока не стоит. Беспрецедентный рост концентрации диоксида углерода не дает океану возможности быстро найти новое равновесное состояние. Особенность современного состояния в том, что неустойчивость климата растет быстрее, чем само потепление. Температура земной поверхности выросла от доиндустриального уровня меньше чем на градус, но частота ураганов, наводнений и пожаров выросла за это время примерно вдвое. Какое состояние климата окажется устойчивым после стабилизации океана, сказать очень трудно. ■

Литература

1. *Milankovitch M.* Kanon der Erdbestrahlungen und Seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem. Belgrade, 1941 (Canon of Insolation and the Ice Age Problem. Alven Global, 1998).
2. HITRAN (High Resolution Transmission) — открытая база данных Гарвард-Смитсоновского института, США (www.cfa.harvard.edu/hitrان).
3. *Lüthi D. et al.* High-Resolution Carbon Dioxide Concentration Record 650.000–800.000 Years Before Present // *Nature*. 2008. V.453. P.379–382.
4. *Loulergue L. et al.* Orbital and Millennial-Scale Features of Atmospheric CH₄ Over the Past 800.000 Years // *Nature*. 2008. V.453. P.383–386.
5. *Sosdian S., Rosenthal Y.* Deep-Sea Temperature and Ice Volume Changes Across the Pliocene-Pleistocene Climate Transition // *Science*. 2009. V.325. P.306–309. См. в этом номере: Диоксид углерода в атмосфере раннего плиоцена. С.78.
6. *Kennett D.J. et al.* Nanodiamonds in the Younger Dryas Boundary Sediment Layer // *Science*. 2009. V.323. P.94. См. в этом номере: Мамонтов сгубила комета? С. 82.
7. *Леин А.Ю., Иванов М.В.* Цикл метана в океане. М., 2009.
8. *Hofmeister A.M., Criss R.E.* Earth's Heat Flux Revised and Linked to Chemistry // *Tectonophysics*. 2005. V.395. P.159–177.
9. *Сидоренков Н.С.* Природа нестабильностей вращения Земли // *Природа*. 2004. №8. С.8–18.

Кто такие форониды?

Е.Н.Темерева, В.В.Малахов

Зоологи XVIII—XIX вв. обладали весьма богатым воображением: немало морских червей и моллюсков носят имена шаловливых нимф, грозных и прекрасных античных богинь. Форонида — внучка пелопонесского царя Форонея — упоминается в одноименной поэме древнегреческого поэта Гелланика и в «Метаморфозах» римского поэта-изгнанника Овидия Назона. Любителям древнегреческих мифов она более известна под именем Ио, которую соблазнил любвеобильный Зевс. Превращенная в корову и преследуемая ревнивой Герой, несчастная Ио в конце концов оказалась в Египте, где родила сына и вновь приняла человеческий облик. В эллинистическом Египте ее стали отождествлять с древней богиней Изидой (сестрой и женой Осириса), которую египтяне также изображали в виде коровы или женщины с рогами на голове. В честь многострадальной Форониды—Ио—Изиды и была названа небольшая группа морских беспозвоночных животных, открытых более полутора веков назад [1].

Как несправедливо порой различаются типы животных по числу входящих в них видов! Членистоногих, к примеру, описано около 1.5 млн видов (и еще не менее 30 млн, как предполагают многие зоологи, еще ждут своего описания), моллюсков — около 100 тыс., хордовых (включая позвоночных) — 50 тыс., а форонид — только 12 (нет, не тысяч, а просто видов!), кото-



Владимир Васильевич Малахов, член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой зоологии беспозвоночных животных Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Специалист в области сравнительной анатомии и эмбриологии беспозвоночных. Член редколлегии журнала «Природа».



Елена Николаевна Темерева, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник той же кафедры. Специалист в области строения и развития морских беспозвоночных.

рые распределены между двумя родами — *Phoronis* и *Phoronopsis*. И тем не менее строение и развитие этих организмов столь необычны, что зоологи, не колеблясь, выделили их в отдельный тип животного царства.

Как же могло получиться, что так сильно отличающаяся от других группа животных представлена всего дюжиной видов? Может быть, форониды — это реликт большого (насчитывавшего когда-то многие сотни и тысячи видов) и процветавшего таксона, от которого до наших дней дожили лишь жалкие

остатки былого разнообразия? Или на протяжении всей эволюции форониды так и оставались небольшой по числу видов и монолитной по строению группой? Увы, достоверные палеонтологические остатки форонид неизвестны, а по распространению современные их сородичи не похожи на реликты. Реликтовые группы обычно имеют небольшой ареал, часто разорванный на два или несколько участков, которые разделены расстоянием в тысячи километров. А форониды населяют все моря и океаны нашей планеты, при

этом большинство видов — космополиты. Они заселили и тропики, и высокие широты, и приливо-отливную полосу, и глубины в сотни метров (находки форонид известны до глубины 390 м). Эгих животных можно найти и в полносолёных морях, и в сильно распреснённых окраинах Мирового океана, таких как Чёрное или Балтийское моря. Более того, форониды поселяются и в устьях рек. Известны находки *Phoronopsis albomaculata* из р.Брисбен в Австралии [2] и *Ph.harmeri* из устья р.Туманной на границе России и КНДР. Да и численность форонид в морских сообществах весьма впечатляет. Так, в Амурском заливе Японского моря, вблизи Владивостока, плотность поселений *Ph.harmeri* в 2006 г. составляла около 50 тыс. экз./м²! Неудивительно, что осенью в период размножения этого вида поверхностный слой воды розовеет от обилия его личинок (актинотрох) — до 1 тыс. экз./см³ (!). А максимально известная плотность поселений взрослых форонид — 93 тыс.

экз./м² [3]. Так что роль форонид в морских сообществах отнюдь не мала. Можно только пожалеть, что морские биологи уделяют им мало внимания. Даже специалисты считают форонид, нередко путая их с другими животными (чаще всего с обитающими в трубках кольчатыми червями), редкими и не играющими сколько-нибудь важной роли в функционировании морских экосистем.

Ничего лишнего

Форониды — розовые, желтоватые или зеленоватые червеобразные организмы — обитают в трубках, которые построены из частиц ила или песка, склеенных выделениями этих животных. Многие виды сверлят известняк или раковины моллюсков и поселяются в проточенных ходах. Для разрушения такого твёрдого субстрата, как камни или раковины, вероятно, используются какие-то кислоты (выделения желез), однако детали этого процесса пока не изучены.

Часто форониды делят кров с другими животными. Так, *Phoronis australis* живёт только в стенках трубок одиночных кораллов — цериантарий, и нигде больше. В одной цериантарии можно найти 20—50, а изредка и до 100 форонид [4]. Маленький *Phoronis ovalis*, обычно сверлящий раковины моллюсков, иногда попадает в губках. Необычный факт из биологии форонид был недавно установлен сотрудниками Института биологических проблем Севера ДВО РАН. Оказалось, что в бухте Нагаева, вблизи Магадана, живут *Phoronis ijimai*, которые поселяются в толще раковин морской улитки *Littorina squalida*. Эти раковины служат домиками для раков-отшельников *Pagurus middendorffii*. Во время отлива раки-отшельники бегают по обсохшему берегу, и форониды, спрятавшись в трубки, выдерживают многочасовое осушение. На Тихоокеанском побережье США (залив Кус-Бэй в штате Орегон) форониды *Phoronis pallida* поселяются в глубоких Y-образных



Форониды *Phoronopsis harmeri*: в трубках (слева), животное, вынутое из трубки (в центре), и головной конец его тела с двумя группами щупалец. По оси каждого щупальца проходит кровеносный сосуд.

Фото Е.Н.Темеревой

норах литоральной креветки *Upogebia pugettensis* [5]. Чтобы достать этих форонид, взрослому человеку нужно почти по самую шею запустить руку в нору креветки.

Длина тела форонид сильно варьирует: от 1,5 мм (у сверлильщика *Ph.ovalis*) до 45 см (у поселяющегося в толще песчаного грунта *Phoronopsis californica*). На переднем конце тела форониды несут ловчий аппарат — лофофор, который состоит из большого числа ресничных щупалец. Выставляя щупальца из трубки, форониды профильтровывают воду и улавливают одноклеточные водоросли, мелких личинок других беспозвоночных животных и другую съедобную мелочь. Щупальца лофофора располагаются в виде подковы или двойной спирали. По оси каждого из них проходит слепой кровеносный сосуд, по которому кровь движется то вверх, то вниз. Через щупальца происходит дыхание и частично выделение продуктов обмена.

Когда мы говорим «передний конец тела форонид», стоит лишний раз задуматься, правильно ли это? Ведь на том конце тела, который высовывается из трубки, расположен не только рот, но и анус, так что определение концов и сторон тела форонид — непростой вопрос, и мы к нему еще вернемся. Из-за того что рот и анус сближены, кишечник форонид представляет собой U-образную трубку. Ото рта он тянется вниз (так и хочется сказать: «к заднему концу тела», но поостережемся это делать) до тонкостенного расширенного вздутия — ампулы, и поворачивает вверх. Стенка тела форонид содержит мощную кольцевую и продольную мускулатуру, которая позволяет животному быстро втягиваться в трубку в минуту опасности. В море немало желающих полакомиться нежными щупальцами лофофора, и надо уметь мгновенно скрыть в трубке столь важный орган.



Phoronis australis в трубке цериантарии. Справа сверху — темно-вишневые щупальца цериантарии, слева внизу — передние концы тел пяти особей форонид. Глубина 3 м, побережье Хорватии. Максимальный диаметр венчика щупалец равен 15—19 мм.

Фото Х.Чизмека

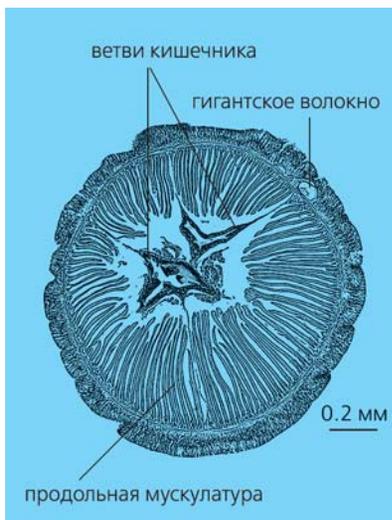


Phoronis hippocrepia на скальном субстрате. Глубина 20 м, Азорские о-ва. Диаметр венчика, образованного щупальцами, составляет 5—7 мм.

Фото П.Виртца



Схема продольного среза тела форонида.



Поперечный срез через середину тела *Ph.harmeri*.

У многих морских животных, которым надо быстро прятаться в норки или трубки, есть особое нервное волокно «гигантских» размеров, позволяющее быстро проводить нервный импульс от переднего конца к мышцам. У форонид оно диаметром до 0.1 мм, т.е. в 100 раз толще обычных отростков нервных клеток. Правда, во всем остальном нервная система форонид очень проста. В ней нет ни нервных ганглиев, ни нервных стволов, так, — сгущения сети нервных клеток в основании щупалец и в эпителии эпистома — лопасти, прикрывающей рот. Ни глаз, ни других специализированных органов чувств у форонид тоже нет. Да и зачем им сложная нервная система и специализированные органы чувств? Во взрослом состоянии они никогда не покидают трубку, никуда не спешат, и вся их задача — вовремя спрятать лофофор. Впрочем, если это сделать не удалось, откушенный передний конец вместе с лофофором через некоторое время восстанавливается.

А вот кровеносная система форонид устроена очень сложно. Она замкнута и состоит из нескольких главных сосудов и множества капилляров. Сердца нет, но сосуды снабжены мышечными стенками, которые, сокращаясь, гонят кровь в определенном направлении. Кровь у форонид ярко-красная, и гемоглобин в ней не растворен в плазме крови, как это обычно бывает у беспозвоночных, а содержится в специализированных клетках-эритроцитах. Эти крупные шарообразные клетки почти в 1.5 раза больше эритроцитов человека. Сложная кровеносная система форонидам нужна, чтобы обеспечить перенос кислорода от щупалец, выставленных в воду, в глубь туловища, скрытого в трубке. Заметим, что трубки форонид глубоко (иногда на десятки сантиметров) погружены в грунт и большая часть тела находится в лишенных кислорода слоях осадка.

Все продумано

Форониды — сестонофаги. Этим страшным словом биологи называют те организмы, которые питаются взвесью из толщи воды. На суше такое питание невозможно из-за относительно низкой плотности воздуха. Поднимаемая порывами ветра взвесь (в том числе и мелкие живые организмы) быстро опускается на землю. Иное дело в воде. Плотность воды велика и легкие тельца планктонных организмов способны бесконечно долго парить в толще воды. Организмы планктона — один из главных компонентов сестона. В его состав входят еще и частицы мертвого органического вещества (детрита) — не менее важный элемент питания сестонофагов, и минеральная взвесь, скорее создающая им помехи, чем приносящая пользу. В море основная доля биологической продукции находится не на дне, а в толще воды. Вот почему огромное число видов морских животных питаются, отфильтровывая из толщи воды бактерий, одноклеточные водоросли, личинок беспозвоночных и детрит. При этом органы питания и дыхания обычно совмещены. Так питаются главные фильтраторы моря — двустворчатые моллюски, у которых эти функции выполняют жабры. Форониды улавливают пищу с помощью щупалец, однако долгое время оставалось неизвестно, как именно это происходит.

Щупальца лофофора форонид расположены в виде двурядной подковы: один ряд расположен перед ртом, а другой — за ним. На концах подковы (у крупных видов они закручены в виде двух симметричных спиралей) ряды сливаются. Каждая клетка эпидермиса щупалец несет один жгутик-ресничку. Их густота зависит от формы клеток эпидермиса — они бывают столбчатые или прямоугольные. По бокам щупальца проходят две густых полосы латеральных

ресничек, которые гонят воду — она входит в лофофор сверху в промежуток между щупальцами, а выходит с боков. Полосы ресничек проходят также по фронтальным поверхностям щупалец, ряды которых обращены друг к другу. Кроме того, вдоль каждого щупальца, между боковыми и фронтальной полоской, расположены еще два ряда неподвижных жестких латерофронтальных ресничек, которые задерживают несущиеся с потоком воды частицы и отбрасывают их на фронтальную поверхность щупальца. Реснички фронтальной поверхности гонят задержанные частицы к основанию щупалец. Там они попадают в выстланный ресничками пищевой желобок между двумя рядами щупалец, по которому транспортируются ко рту.

Расстояние между латерофронтальными ресничками составляет около 1 мкм — через такой фильтр могут проникнуть только самые мелкие бактерии — кокки. Но 1 мкм — это нижний размер сита, а ведь должен быть и верхний. Надо ртом форонид возвышается эпистом, который продолжается в обе стороны в виде складки эпителия. Вот эта складка и определяет верхний размер частиц, попадающих в ресничный пищевой желобок. Дело в том, что густые реснички находятся только на той стороне эпистомной складки, которая обращена к наружному ряду щупалец, а редкие реснички — на противоположной стороне. Щупальца наружного ряда имеют густые фронтальные реснички по всей длине до самого основания, а щупальца внутреннего — на некотором расстоянии от основания утрачивают густую ресничную выстилку. Уловленные частицы транспортируются по фронтальным поверхностям щупалец обоих рядов к их основаниям. Однако внизу, там, где щупальца наружного и внутреннего рядов почти соприкасаются, частицы захватываются густыми фронтальными ресничками щупалец

наружного ряда и далее транспортируются внутрь пищевого желобка. Расстояние между эпистомной складкой и фронтальными поверхностями щупалец наружного ряда служит фильтром, отсекающим слишком крупные частицы. Они не могут протиснуться в промежуток между наружными щупальцами и обращенной к ним поверхностью эпистомной складки. Обычно этот промежуток представляет собой подковообразную щель шириной около 12—15 мкм. Получается, что размер пищевых частиц, улавливаемых форонидами, находится в диапазоне от 1 до 12—15 мкм. В этот промежуток попадают мелкие одноклеточные водоросли, бактерии и частицы детрита. Более крупные частицы накапливаются в промежутке между складкой эпистома и внутренним рядом щупалец с противоположной стороны от пищевого желобка. Оттуда они медленно продвигаются на противоположную от рта сторону эпистома и выбрасываются во внешнюю среду.

Щупальца форонид очень подвижны. Изгибая их, форониды способствуют очищению лофофора от накопившихся частиц. Как и многие растительноядные формы, форониды при случае не брезгают крупной жи-

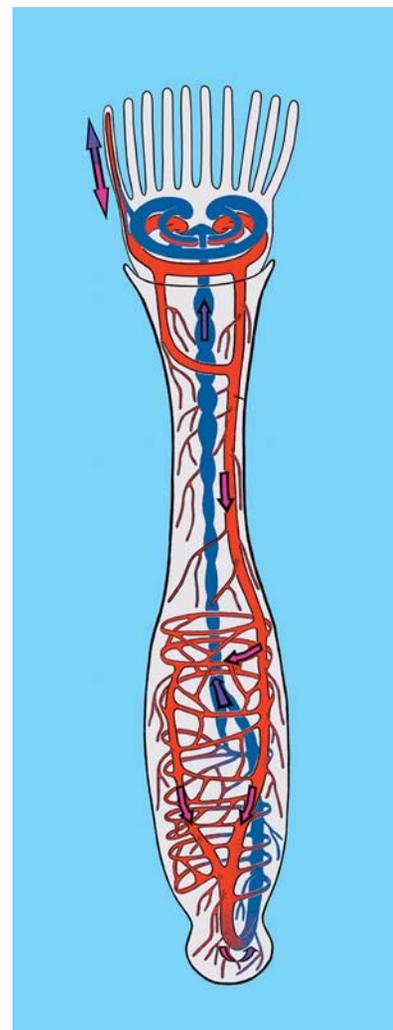
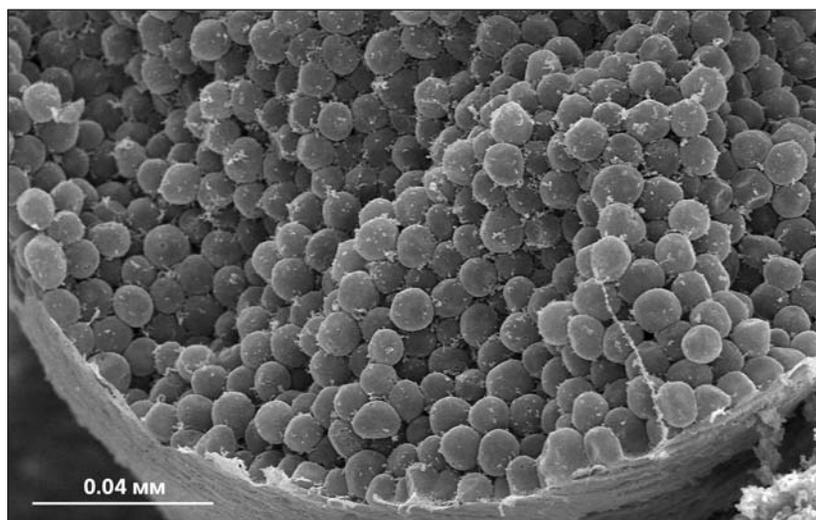


Схема строения кровеносной системы форонид. Стрелками показано направление кровотока.



Микрофотография эритроцитов в просвете кровеносного сосуда.

вотной пищей. Если в ловушку попадет личинка какого-нибудь беспозвоночного, щупальца изгибаются и отправляют добычу в рот, несмотря на то что размер добычи может быть много больше обычного.

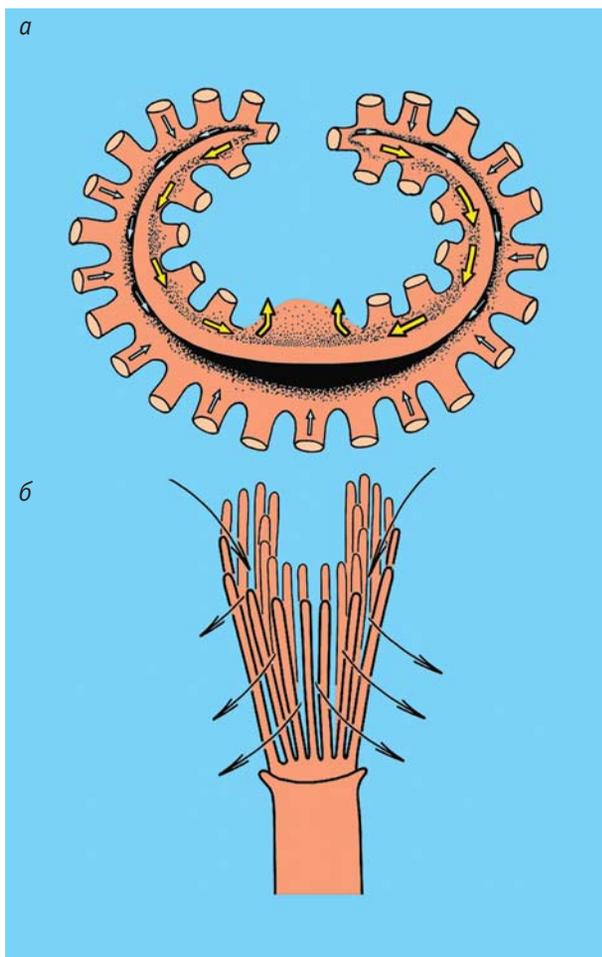
Метаморфозы

Среди форонид есть раздельнополые виды, но есть и гермафродиты. Сперматозоиды форонид очень необычны: они V-образной формы, при этом одна половинка — это ядро, а другая — жгутик [6]. Такой сперматозоид движется острым

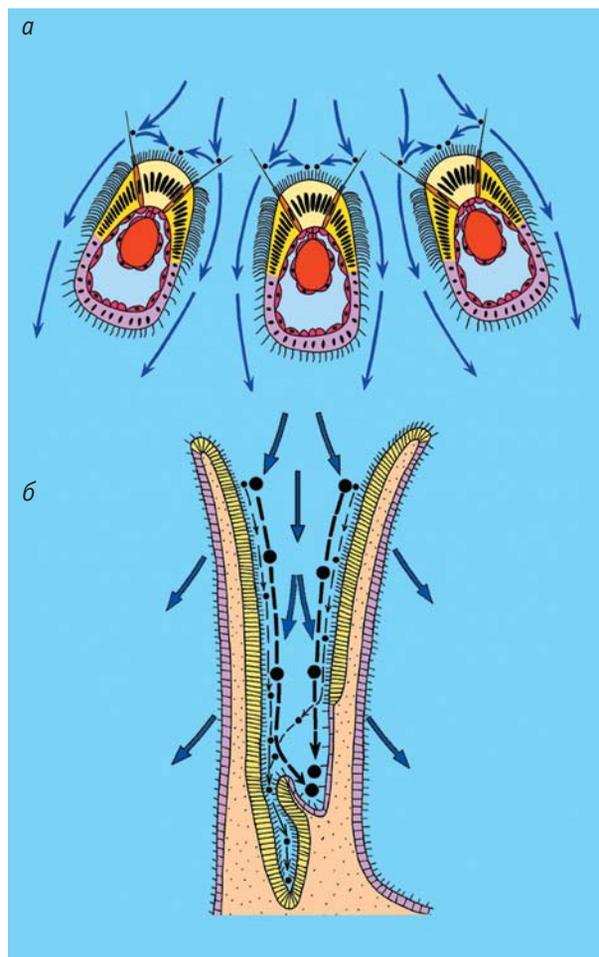
углом вперед и не предназначен для наружного оплодотворения в толще воды. Действительно, у форонид своеобразное, наружно-внутреннее, оплодотворение. В особых лофофоральных органах формируется специальный контейнер-сперматофор, в который упакованы сперматозоиды. Форониды часто образуют плотные поселения, где одна особь находится недалеко от другой, так что передать сперматофор соседу несложно. Однако у некоторых видов сперматофоры снабжены специальным плавником-зонтиком, поэтому могут более или менее долго находиться в толще

воды и переноситься с током воды на несколько метров [7]. Попав в лофофор другой особи, сперматофоры разрушаются, спермии проникают в полость тела и оплодотворяют яйцеклетки.

Яйцеклетки попадают во внешнюю среду оплодотворенными, иногда уже на стадиях дробления. У крупных видов все развитие протекает в толще воды, а более мелкие (преимущественно сверлящие) виды вынашивают потомство в лофофоре до стадии личинки актинотрохи. Только один, самый маленький, вид форонид (*Ph.ovalis*) развивается с непитающейся



Схемы движения пищевых частиц и токов воды в лофофоре. а — вид сверху, видны только основания щупалец; тонкими стрелками показано движение съедобных частиц в рот, толстыми — движение крупных несъедобных частиц в пространстве над эпистомом. б — вид сбоку; стрелками показано движение токов воды.



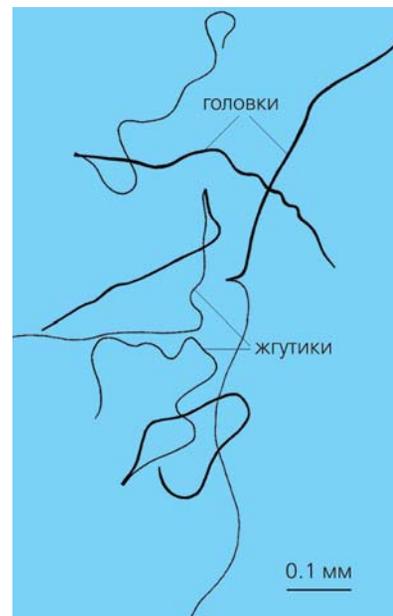
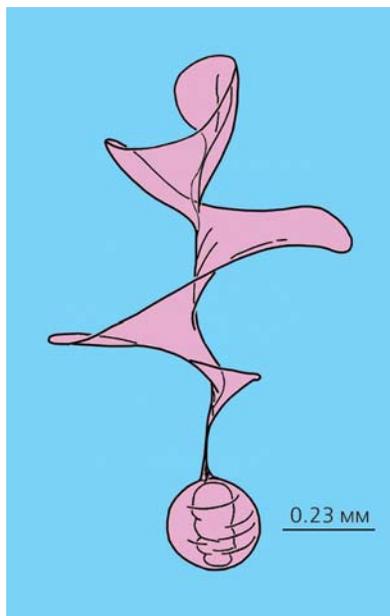
Схемы движения токов воды и пищевых частиц на щупальцах. а — поперечные срезы через щупальца, б — продольный срез через их внутренний и наружный ряды. Сплошными стрелками показано движение токов воды, тонкими прерывистыми — мелких пищевых частиц, толстыми прерывистыми — крупных несъедобных частиц.

личинкой, которая ползает по дну и вскоре прикрепляется на подходящем субстрате [8, 9]. У всех остальных видов личинки свободно плавают в толще воды и питаются одноклеточными планктонными водорослями.

Личинки форонид — актинотрохи (от греч. *αχτιδα* — луч и *τροχος* — колесо) совершенно не похожи на взрослых животных. Неудивительно, что немецкий зоолог Иоганн Мюллер, впервые обнаруживший их в планктоне в 1846 г., не колеблясь, описал их как самостоятельный вид животных *Abranchiata*. Только благодаря исследованию российского зоолога и эмбриолога А.О.Ковалевского выяснилось, что *Actinotrocha branchiata* — это личинка форониды *Phoronis muelleri* [10]. С тех пор слово «актинотроха» используется как общее название для личинок форонид.

Все актинотрохи устроены по общему плану. На переднем конце — большая куполообразная предротовая лопасть, окаймленная ресничным шнуром. Под ней — рот, еще ниже — венчик ресничных щупалец, а за ними — цилиндрическое туловище с концевым ресничным кольцом (телотрохом) вокруг анального отверстия. По мере роста у личинок увеличивается число щупалец, дифференцируются отделы кишечника, появляются ярко-красные скопления эритроцитов. Зрелые актинотрохи необыкновенно красивы. Крупные прозрачные личинки *Ph.harmeri* медленно парят в воде, расставив в стороны многочисленные длинные щупальца. Через желтоватые покровы просвечивают ярко-красные скопления эритроцитов. У личинок *Ph.ijimai* окраска тела сочетает желтый, черный, коричневый и красный цвета. Пигментированный эпидермис делает этих актинотрох похожими на плюшевых медвежат.

Зрелая актинотроха — сложный организм. У нее три отдела вторичной полости тела, кровеносные сосуды и нервные ган-

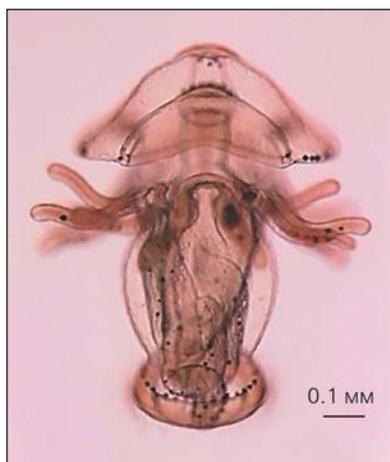


Сперматофор [7] и спермии *Ph.harmeri*.

гли, которых нет у взрослых форм. Некоторые личинки обладают даже глазками. По мере развития на брюшной стороне актинотрохи формируется глубокий впячивание — так называемый метасомальный карман. Этому органу суждено сыграть важную роль в формировании тела будущей форониды.

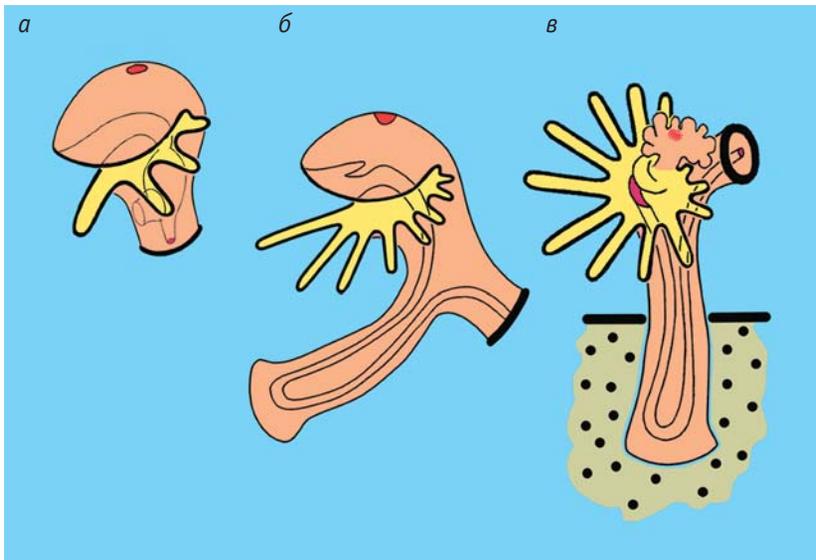
Метаморфоз форонид — удивительное и захватывающее зрелище. Начинается метаморфоз с того, что метасомальный

карман выворачивается и приобретает вид длинного червеобразного нароста на личинке. Уже на этой стадии хорошо заметна ампула — очень подвижный концевой участок тела, способный то раздуться, как мяч, то вытягиваться в длинный язычок. Подвижность ампулы позволяет молодой форониде закапываться в грунт. Эпидермис вывернутого метасомального кармана постоянно выделяет большое количество клейкого



Актинотрохи форонид *Ph.harmeri* (слева), пойманной у побережья о.Сан-Хуан (Тихоокеанское побережье Северной Америки), и *Ph.ijimai*.

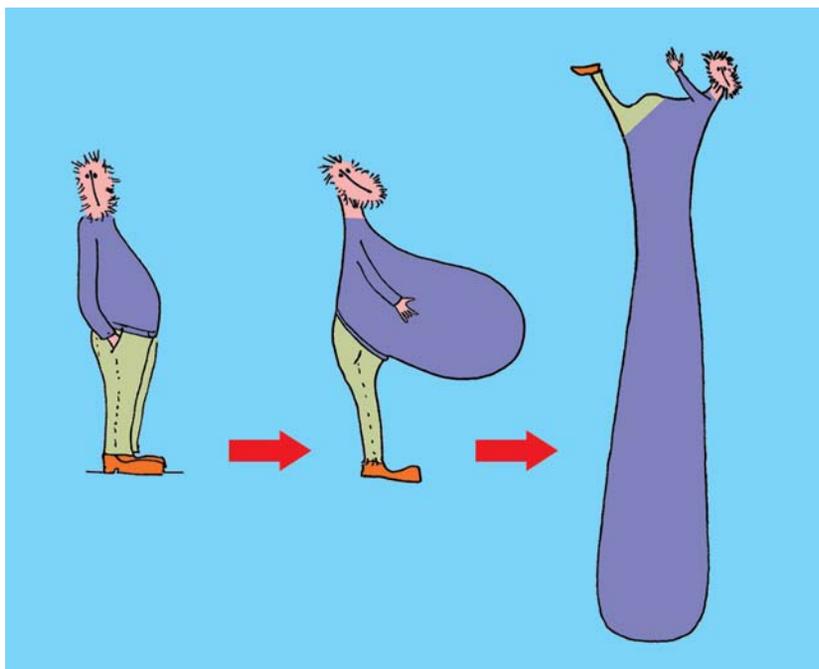
Фото Е.Н.Темеревой



Метаморфоз форонид. Личинка (а), личинка с вывернутым метасомальным выростом (б), осевшая метаморфизирующая форонидка (в).

секрета, к которому приклеиваются частицы грунта и который намертво прикрепляет животное к субстрату. За счет этого секрета уже в первую минуту метаморфоза у форониды появляется тонкая прозрачная трубка. Выворачивание метасомально-

го кармана сопровождается втягиванием в него пищеварительной трубки и кровеносных сосудов личинки. В результате формируется U-образный изгиб кишечника, характерный для взрослых форонид. Вывернувшийся метасомальный кар-



Карикатура, которая помогает понять, что происходит при метаморфозе форонид, и одновременно служит предостережением тем, кто, подобно форонидам, ведет малоподвижный образ жизни и не соблюдает диету.

ман — это и есть туловище будущей форониды, которое формируется под прямым углом к передне-задней оси личинки. А дальнейшая судьба некоторых других личиночных органов плачевна.

Метаморфоз требует энергии, и личинка подкрепляется, пожирая собственные органы. Первой приходит очередь предротовой лопасти. Она распадается на конгломераты клеток, которые биением жгутиков щупалец направляются ко рту и затягиваются в него. Увы, вместе с эпидермисом в рот попадают и нервные ганглии! Таким образом, предротовая лопасть личинки вместе с нервным центром становится первой пищей молодого животного, и с этого момента форониде придется обходиться без нервных ганглиев. Затем наступает очередь личиночных щупалец, которые также полностью или частично дегенерируют и используются в пищу. У *Ph.barmeri*, например, концы щупалец актинотрохи сморщиваются, отваливаются и попадают в рот. Основания личиночных щупалец дают начало щупальцам молодой форониды, которые первоначально располагаются в виде слегка вогнутого овала вокруг рта. В итоге уже через 15 мин после начала метаморфоза перед нами — молоденькая форонидка. На самом деле изменения еще не закончены: продолжается редукция телотроха, формируются новые кровеносные сосуды, развиваются нефридии и другие органы. Только через девять дней молодое животное приобретет окончательное сходство с взрослой форонидой.

События, происходящие в метаморфозе, позволяют разобратся в необычном плане строения взрослых форонид. Исходная переднезадняя ось (линия, соединяющая рот и анус) у взрослых форм оказывается укороченной на апикальном конце животного, который при фильтрации выставляется

из трубки. Небольшая область между ртом и анусом соответствует спинной стороне. Зато брюшная сторона разрастается невероятно, прежде всего, из-за того что здесь развивается гигантский вырост, в который втягиваются кишечник и другие внутренние органы. Самая заглубленная в субстрат часть тела форонид, ампула, — это не задний конец тела (см. предостережение выше!), а середина брюшной стороны.

Как же возник такой необычный план строения? Вероятно, подвижные предки форонид в минуту опасности зарывались в мягкий грунт мускулистым выростом брюшной стороны. На основе этой защитной повадки сформировался новый план строения, согласно которому большинство внутренних органов переместились в сильно разросшийся и хорошо защищенный брюшной вырост*.

* Подробнее см.: Малахов В.В. Революция в зоологии: новая система билатерий // Природа. 2009. №3. С.40—54.

Недвусмысленное положение

Как это ни удивительно, именно таким небольшим и обособленным группам, как форониды, всегда уделяют повышенное внимание в статьях и книгах, посвященных эволюции животного царства. Это связано с тем, что такие группы нередко занимают промежуточное положение, связывая другие, гораздо более крупные, эволюционные стволы.

Положение форонид в системе животного царства всегда вызывало оживленные дискуссии. Вместе с плеченогими (Brachiopoda) и мшанками (Bryozoa) они традиционно соединяются зоологами в группу щупальцевых (Lophophorata), которые по совокупности признаков занимают промежуточное положение между первичноротыми (кольчатыми червями, моллюсками и членистоногими) и вторичноротыми (иглокожими, полухордовыми и хордовыми). Особенности эмбрио-

нального развития скорее сближают форонид, плеченогих и мшанок с вторичноротыми. В то же время исследования молекулярных филогенетиков, выполненные в последние полтора десятка лет, уверенно свидетельствуют об отнесенности близком родстве щупальцевых и так называемых трохофорных животных (кольчатых червей и моллюсков). На страницах научной печати появился новый таксон лофотрохофорных (Lophotrochozoa), объединяющий щупальцевых и трохофорных [11—13].

Если правы молекулярные биологи, то у щупальцевых животных, в том числе и у форонид, должны найтись признаки метамерии, ведь трохофорные животные (кольчатые черви и моллюски) — исходно метамерные формы. Действительно, оказалось, что личинки примитивных плеченогих — метамерные организмы [14], а недавно нашлись доказательства того, что метамерия сохраняется у плеченогих и во взрослом со-

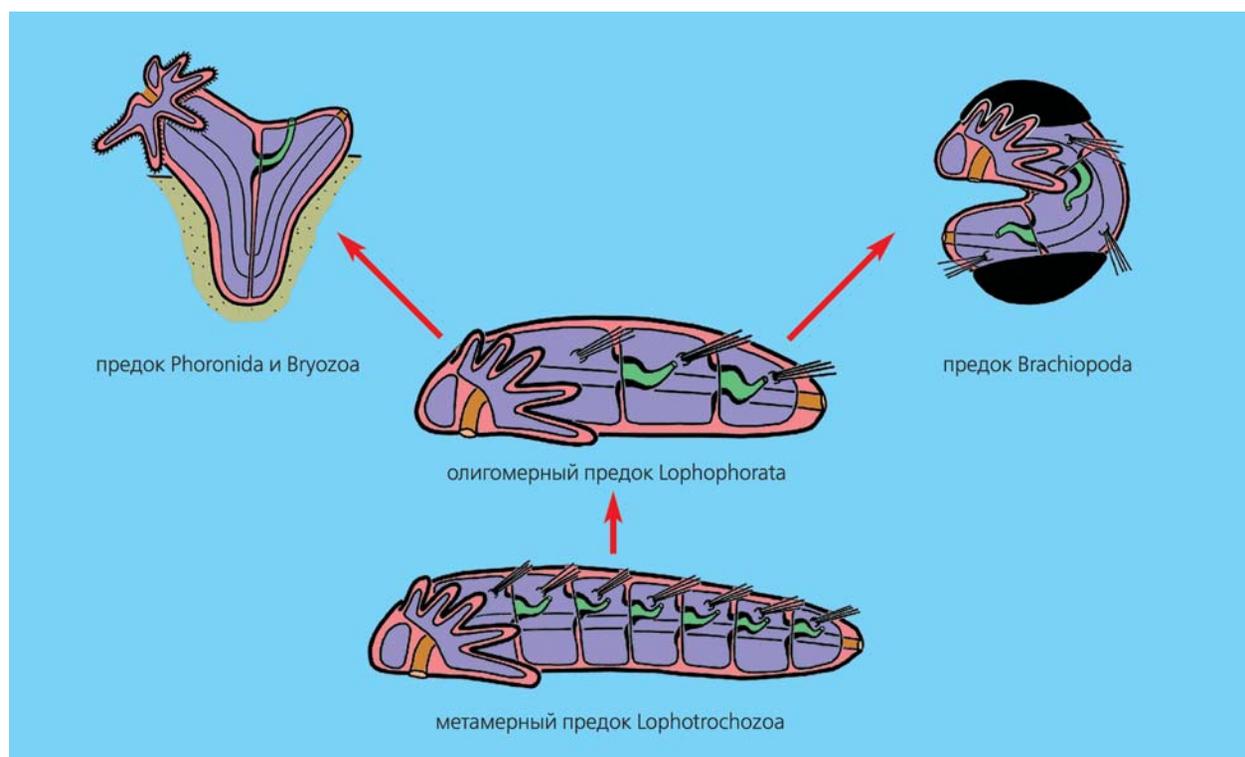


Схема эволюционных преобразований планов строения у лофофорат.

стоянии [15]. Что касается форонид, то на первый взгляд ни у личинок, ни у взрослых форм никакой метамерии нет (расчленение на три отдела — предротовую лопасть, щупальцевый и туловищный отделы — не является метамерией, так как эти отделы исходно разные, а метамеры, или сегменты, — это повторяющиеся элементы одного и того же отдела). Означает ли это, что, в отличие от плеченогих, форониды полностью утратили метамерию?

Анализ организации форонид показывает, что метамерия у форонид сохранилась, хотя и в сильно редуцированном виде. Если принять во внимание, что переднезадняя ось у взрослых форонид проходит перпендикулярно главной (апикально-базальной) оси, то туловищный отдел окажется расчлененным на два сегмента. Де-

ло в том, что у форонид помимо обычного спинно-брюшного мезентерия, на котором у всех животных подвешен кишечник, есть еще странные латеральные мезентерии. Они располагаются перпендикулярно к сильно укороченной переднезадней оси. Два латеральных мезентерия можно рассматривать как половинки перегородки (диссепимента) между двумя туловищными сегментами: передним и задним.

Есть важное доказательство того, что латеральные мезентерии представляют собой диссепимент. У метамерных животных на диссепиментах открываются воронки выделительных органов — нефридиев. Именно так обстоит дело и у форонид. Кстати, тот же признак позволяет узнать диссепименты в латеральных мезентериях плеченогих — на них тоже открываются

воронки нефридиев, только самих диссепиментов у плеченогих оказалось два, а туловищных сегментов — три [15].

Уменьшение числа туловищных сегментов до двух или трех связано с тем, что у щупальцевых переднезадняя ось тела (а это и есть ось метамерии) очень укорочена. Туловище у них растет совсем в другом направлении — перпендикулярно к переднезадней оси, как, напомним, у форонид. Тем не менее сам факт сохранения сегментации, пусть и в редуцированном виде, у форонид и плеченогих говорит о том, что общий предок щупальцевых и трохофорных был метамерным организмом. Так что, похоже, молекулярные биологи не так уж неправы, предполагая происхождение обеих групп от общего, и как мы теперь понимаем, метамерного, предка. ■

Работа выполнена при финансовой поддержке Роснауки (проект 02.740.11.0280) и Российского фонда фундаментальных исследований (проект 08-04-00991).

Литература

1. Wright T.S. // Edinburgh N. Philos. J. 1856. V.4. P.313—316.
2. Emig C.C., Boesch D.F., Rainer S. // Rec. Austr. Mus. 1977. V.30. №16. P.455—474.
3. Oliver J.S., Slattery P.N., Hulberg L.W. et al. // Techn. Rep. 1977. V.77. P.1—186.
4. Emig C.C. // Adv. Mar. Biol. 1982. V.19. P.1—89.
5. Santagata S. // Evol. Dev. 2002.V.4. P.28—42.
6. Reunov A., Klepal W. // Helgol. Mar. Res. 2004. V.58. №1. P.1—17.
7. Zimmer R.L. // J. Morphol. 1967. V.121. №2. P.159—178.
8. Silén L. // Act. Zool. 1954. V.35. P.215—257.
9. Grobe P. // <http://www.diss.fu-berlin.de/2008/81/chapter2.pdf>
10. Ковалевский А.О. // Зап. Имп. АН. СПб., 1867. Т.2. С.1—35.
11. Halanych K.M., Bacheller J.D., Aguinaldo A.M.A. et al. // Science. 1995. V.267. P.1641—1643.
12. Passamanek Y.J., Halanych K.M. // Evol. Dev. 2004. V.6. P.275—281.
13. Passamanek Y., Halanych K.M. // Mol. Phyl. Evol. 2006. V.40. P.20—28.
14. Nielsen C. // Acta Zool. (Stokholm). 1991. V.72. P.7—28.
15. Малахов В.В., Кузьмина Т.В. // Доклады Академии наук. 2006. Т.409. №5. С.712—714.

Сложная жизнь древнейшей россыпи

А.М.Портнов

Приятно загорать на пляжах под монотонный шум волн, перекатывающих мелкую гальку. Но пляж — это и место возникновения россыпных месторождений полезных ископаемых. Россыпями геологи называют перемытые водой пески и песчаники с повышенной концентрацией ценных устойчивых минералов, оставшихся при выветривании и разрушении коренных пород.



Александр Михайлович Портнов, доктор геолого-минералогических наук, профессор Московского государственного геолого-разведочного университета им.С.Орджоникидзе. Область научных интересов — поиск полезных ископаемых, минералогия и геохимия.

Природные концентраты полезных ископаемых

Для возникновения россыпей необходим теплый влажный климат, в условиях которого глубинные магматические породы разрушаются и как бы гниют, превращаясь на огромных территориях в коры выветривания, покрывающие глубинные породы рыхлым плащом. При химическом выветривании дождевые воды с участием CO_2 , органических кислот и бактерий выносят из полевых шпатов и слюд калий и натрий. Теряя щелочные элементы, эти минералы превращаются в белую глину — каолинит, а устойчивый кварц остается. В итоге заоблачные горы превращаются в пласты рыхлой глины и кварцевого песка. Вода быстро их размывает, оставляя природный концентрат тяжелых рудных минералов.

При выветривании гранитов сохраняются редкие устойчивые

минералы — циркон (ZrSiO_4) и монацит (CePO_4), из которых добывают цирконий и редкоземельные элементы. Циркон-монацитовые россыпи обладают радиоактивностью выше фоновой, поскольку в них всегда содержатся уран и торий.

При разрушении темных железистых базальтов возникают черные пляжи, богатые магнитным железняком и ильменитом (FeTiO_3), а выщелачивание ультраосновных пород мантии и кимберлитов сопровождается образованием платиновых и алмазных россыпей. Выветривание рудных жил приводит к образованию россыпных месторождений золота, олова и вольфрама.

На Земле преобладают молодые россыпи, возникшие несколько миллионов лет назад. Они располагаются в долинах рек или на берегах морей. Океанские пляжи Индии и Бразилии содержат так много редко-

земельного монацита, что германское правительство еще в конце XIX в. приказало своим капитанам при доставке грузов в эти страны на обратном пути в качестве балласта загружать пляжный песок.

Из заморского песка дальновидные немцы выделяли монацит и циркон, а из них — церий, лантан, иттрий, цирконий, торий, уран и даже... гелий. Этот секрет раскрыли только после Первой мировой войны, а в 1915 г. английская зенитная артиллерия безуспешно обстреливала немецкий дирижабль, бомбивший Лондон. Дирижабль не взорвался и не погиб, как другие цеппелины, заполненные водородом. Английский химик Трелофол догадался, что дирижабль был заполнен гелием, который в то время считался редчайшим газом. Однако долгое время никто не знал, что немцы добывали его из морских пляжных песков.

Бывают и древние россыпи, возникшие десятки и сотни миллионов лет назад и погребенные под толщами осадков. Они свидетельствуют о руслах исчезнувших рек и пляжах высохших морей и указывают на жаркий и влажный климат в прошедших эпохах истории Земли.

Могли ли россыпи образоваться миллиарды лет назад? Иначе говоря, похожи ли были древнейшие ландшафты Земли на современные? Шумел ли 3 млрд лет назад морской прибой, формировались ли под проливными дождями коры выветривания магматических пород?..

К самым древним (1.9 млрд лет) россыпным месторождениям обычно относят раннепротерозойские кварц-пиритовые конгломераты золото-уранового гиганта Витватерсранд в Южной Африке. Однако существует и другая точка зрения: эти конгломераты только внешне напоминают речные отложения, а в действительности они представляют собой глубинные залежи, которые образованы рудоносными подземными потоками, обогащенными газом магмы.

Архейская россыпь Кольского полуострова

Настоящую древнейшую прибрежно-пляжную россыпь, залегающую в архейских осадочных породах и намывную волнами неведомого моря на самой ранней стадии истории Земли, нам удалось обнаружить при аэрогеофизической съемке центральной части Кольского п-ова. Съемка, проведенная с борта самолета Ан-2, выявила огромную уран-ториевую аномалию в виде двух извилистых овалов, вытянутых на десятки километров. Радиоактивные пластиы залежали в осадочных породах возрастом 2.87 млрд лет (определен уран-свинцовым методом по циркону).

Пласты песчаника с повышенной радиоактивностью окаймля-

ли синклиналь — структуру, похожую на огромное корыто или желоб. Типичная циркон-монацитовая россыпь выходила на поверхность как раз по краям этого желоба. В центре синклинали ее закрывали более молодые богатые алюминием углистые сланцы, возраст которых составлял 2.79 млрд лет по уран-свинцовому методу и 2.70 млрд лет — по рубидий-стронциевому.

Для изучения такой необычно крупной радиоактивной аномалии мы высадились на невысокий пологий водораздел под названием Кейвские тундры, который протянулся с запада на восток через центр Кольского п-ова, поставили палатку и начали знакомиться с геологией района.

Маршруты показали, что радиоактивную аномалию давал прослой древних архейских песчаников мощностью около 50 м. Характерная косая слоистость указывала на то, что порода возникла в прибрежной зоне и когда-то была типичным пляжем, который протягивался в широтном направлении по крайней мере на сотню километров. В 10—15 км южнее, на другом крыле синклинали, он опять появлялся из-под черных сланцев.

Радиоактивность была связана с концентрацией мелких окатанных зерен циркона и монацита — типичных тяжелых минералов прибрежных россыпей, возникающих при выветривании гранитов. Содержание урана составляло 40 г на тонну породы, тория — 80 г/т, что многократно превышало среднюю концентрацию этих элементов в земной коре.

Детальную геологическую карту района составил геолог Кольского филиала АН СССР И.В.Бельков. В синклинальной складке он выделил кейвскую свиту — комплекс древнейших осадочных пород, состоящий из мощной толщи светлых песчаников и вышележащих черных углистых сланцев с высоким содержанием алюминия. Бельков также установил множество отдельных осадочных слоев, которые отличались удивительной выдержанностью по простиранию.

Пласты мощностью в 0.5 м тянулись на десятки километров: в одних преобладал силикат алюминия дистен ($Al_2[SiO_3]$), в других — красный гранат, в третьих — крестообразные сростки коричневых кристаллов ставролита ($FeAl_4[SiO_4]_2(OH)_2O_2$) или черные пластинки ильменита.

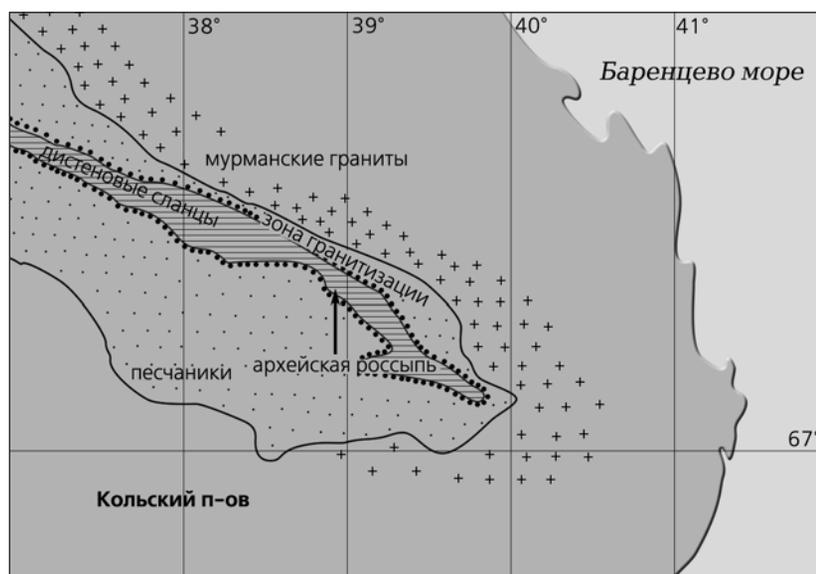


Схема размещения архейской россыпи на Кольском п-ове.

Такие же ильменитовые сланцы я раньше встречал в протерозойских толщах Патомского нагорья, в Ленском золотоносном районе. Они образуются при метаморфизме глинистых сланцев, обогащенных титаном.

В глубинах Земли песчаники частично превратились в гнейсы и граниты, а каолиновые глины — в кристаллические сланцы с преобладанием высокоглиноземистого дистена. Его голубые пластинки легко царапались ножом вдоль удлинения кристаллов, но в поперечном направлении твердость резко возрастала. Это свойство отразилось и в названии: по-гречески дистен — двоякосопротивляющийся. Называют его еще и кианитом, что по-гречески означает «темно-синий». Он содержит 63% оксида алюминия, и потому дистеновые сланцы могут представлять интерес как алюминиевая руда.

О пласте с повышенной радиоактивностью в работах Белькова не упоминалось, возможно, потому, что при слове «уран» любая публикация становилась секретной и многие геологи избегали этой закрытой темы.

Бельков составил точные и детальныe разрезы. Россыпь подстилали песчаники с обычной фоновой радиоактивностью, превращенные в кристаллические сланцы и гнейсы. В них



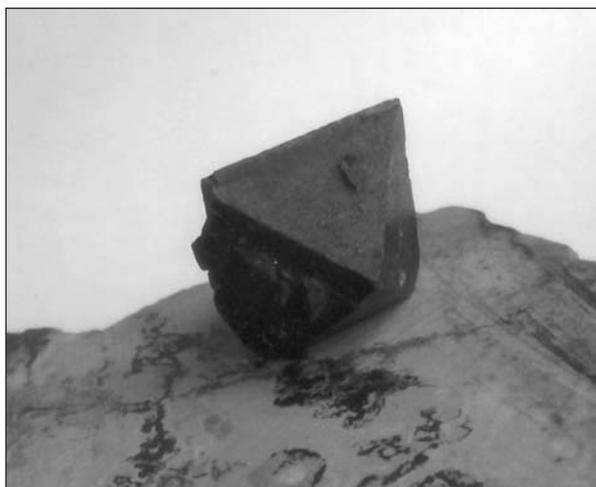
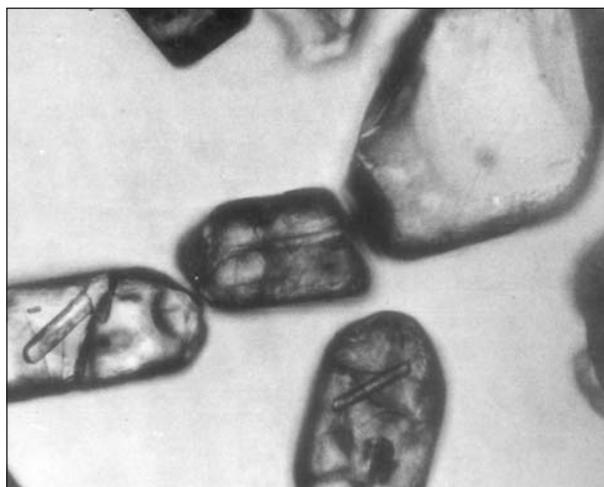
Ветеран авиации Ан-2 незаменим при аэрогеофизической съемке.

встречались прослойки окатанной кварцевой гальки и сохранялась косая слоистость, характерная для прибрежных песков.

Выше радиоактивного пласта залежали богатые алюминием черные сланцы с кристаллами дистена. Однако дистен возник не сразу — он кристаллизовался за счет андалузита, имеющего такой же химический состав, но отличающегося более рыхлой кристаллической структурой. Замещение андалузита дистеном указывает на большие глубины, в которые попали пески и каоли-

новые глины. Для перехода андалузита в дистен нужны температура не менее 500°C и давление более 12 кбар, что соответствует глубине в 12—15 км.

Севернее синклинали на поверхность выходили древние архейские мурманские граниты, также поднятые с большой глубины. Сочетание гранитов, измененных песчаников и глин с расположенной между ними циркон-монацитовой россыпью не случайно. Древние граниты представляли собой сточенные «корни» высоких гор, от разру-



Основные минералы древнейшей россыпи — циркон и монацит (крупный кристалл в правом верхнем углу), увел. 50. А так выглядит циркон из коренных месторождений (справа).



Климат современных Кейвских тундр не способствует формированию россыпей.

шения которых в прибрежной морской зоне остались пески, глины и пляжи, засыпанные цирконом и монацитом. Около 3 млрд лет назад в условиях не очень жаркого, но влажного климата из гранитов были вынесены все щелочные элементы, и они превратились в глиноземистые каолиновые глины с примесью кварца и редких минералов.

Реки размывали глину, отделили ее от кварцевого песка. Волны древнего моря перемывали песок и концентрировали

тяжелые радиоактивные минералы на пустынных пляжах. Глины отлагались вдали от берега. Но море наступало, прибрежные россыпи с цирконом и монацитом уходили под воду, их закрывали пласты каолиновых глин. Вместе с глиной на дно падали остатки синезеленых водорослей и бактерий. Органического вещества было так много, что оно пропитало белые глины и окрасило их в черный цвет. В те времена моря уже были наполнены примитивной жизнью.



Суровые северные ветры перекрутили карликовые березки Кейв.

Каолининовая кора выветривания характерна для умеренных широт и указывает на относительно прохладный климат данной местности в архее.

Миллиарды лет породы Кольского п-ова разрушались дождями, реками и льдами. Поднятая из глубин огромная древняя россыпь вместе с перекрывающими ее дистеновыми сланцами сохранилась лишь внутри узкого синклинального желоба, северный борт которого подпирают мурманские граниты. Тем не менее, запасы алюминия в дистеновых сланцах так велики, что Кейвское месторождение могло бы обеспечить сырьем всю алюминиевую промышленность России. Но руды эти низкого качества, поскольку извлечение алюминия из дистена требует больших энергетических затрат.

Превращения россыпи

Изучение древнейшей россыпи, погруженной в условия глубинного метаморфизма с привнесом щелочей, позволило выяснить, как ведут себя радиоактивные элементы при гранитизации осадочных пород, т.е. при превращении осадочных радиоактивных песчаников в граниты. Особенность данной россыпи в том, что в южном крыле синклинали радиоактивный пласт за 3 млрд лет почти не изменился — остался песчаником и содержал не более 1% калия (за счет примеси обломочного полевого шпата).

В северном крыле, вблизи мурманских гранитов, тот же песчаник выглядел иначе. Это был уже настоящий гранит с массой кристаллов новообразованного калиевого полевого шпата — микроклина. Так проявился региональный калиевый метасоматоз (замещение), при котором часть кварца в песчанике растворилась и заместила микроклином. Содержание калия в породе увеличилось до 4% (как в граните с повышенным содержанием щелочей).

Удивителен тот факт, что при калиевом метасоматозе древние обломочные монацит и циркон сохранились в граните практически без изменения. Гранитизация не повлияла и на поведение радиоактивных элементов: содержание урана и тория осталось таким же, как и в песчаниках. Определение абсолютного возраста уран-свинцовым методом по древнему обломочному циркону поэтому завышает возраст новообразованных гранитов.

Далее на запад в песчаниках активно проявлялся натриевый метасоматоз. Глубинные натриевые растворы способствовали возникновению натриевого полевого шпата — альбита. Еще далее на запад Na в породах стало так много, что в песчаниках образовался высоконатриевый минерал нефелин ($\text{NaAl}[\text{SiO}_4]$). Резко щелочная среда привела к возникновению небольшого Сахарьокского массива нефелиновых сиенитов — пород с высоким содержанием щелочей.

Обычно нефелиновые сиениты возникают в мантийных условиях, об этом свидетельствует низкое значение отношений изотопов стронция: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.703\text{--}0.705$. Но сиениты Сахарьока имеют весьма редкое для этого типа пород высокое отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.720$, что указывает на их происхождение за счет щелочной переработки древних осадочных пород. Не случайно они находятся на западном продолжении древней россыпи.

В щелочных условиях обломочный монацит растворился, а входившие в его состав редкоземельные элементы, торий, уран и фосфор «перебрались» в нефелиновых сиенитах в редкоземельный минерал бритоцит. Бритоцит интересен тем, что имеет кристаллическую структуру апатита, но почти весь кальций в нем замещен торием, ураном, церием, а фосфор — кремнием. Такой процесс возможен лишь в высокощелочной среде. Обломочный циркон также рас-

творился и был вновь переотложен. На это указывает его относительно молодой возраст — 2,3 млрд лет (определен уран-свинцовым методом). Видимо, это соответствует времени широкого проявления натриевого щелочного метасоматоза.

Более корректно определить возраст калиевого метасоматоза и гранитизации можно рубидий-стронциевым методом по новообразованному калиевому полевоому шпату, где часть калия всегда замещена рубидием. Метод основан на радиоактивном превращении $^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr}$. Однако в песке россыпи присутствует древний микроклин со своим рубидием, который увеличивает возраст гранитов.

Определение возраста гранитов уран-свинцовым методом по циркону приведет к еще более резкому завышению возраста, поскольку циркон в них не «свой», а обломочный, заимствованный из древних архейских пород Мурманского блока возрастом около 3 млрд лет.

На такой случай у геохимиков имеется самарий-неодимиевый метод, основанный на радиоактивном превращении $^{147}\text{Sm} \rightarrow ^{143}\text{Nd}$. Самарий накапливается в кальциевых или темноцветных минералах. В частности, при гранитизации песчаников возникают роговые обманки, наиболее удобные для этого анализа. Действительно, самарий-неодимиевый метод показывает для гранитизированных пород кейвской свиты самый молодой возраст — 2,65 млрд лет. Видимо, он наиболее близко к реальности отражает время проявления калиевого метасоматоза и гранитизации.

* * *

Таким образом, на Кольском п-ове можно проследить уникальную геологическую эволюцию вещества древней россыпи. Сначала архейские граниты при выветривании породили высокоглиноземистые каолиновые сланцы и монацит-цирконовые песчаные россыпи. При мета-

морфизме водоупорные каолиновые глины не подверглись действию щелочных растворов, сохранив свой первичный состав, и из них возникли дистеновые сланцы. В отличие от них пористые песчаники и древние россыпи пропитались щелочными растворами. Калиевый метасоматоз создал из россыпей микроклиновые радиоактивные граниты, в которых сохранились обломочные циркон и монацит.

Натриевый метасоматоз оказался химически более активным. В частности, натрий способствовал растворению глиноземистых сланцев. В высокощелочной среде возник нефелин, силикат алюминия и натрия, а тяжелые россыпные минералы растворились. Однако содержащиеся в них редкие элементы и фосфор остались практически на месте и только перешли в редкий минерал бритоцит.

Геологи часто склонны придавать большое значение выносу глубинными растворами из осадочных пород рудных элементов, переносу их на большие расстояния с последующей концентрацией. Изучение процессов регионального щелочного метасоматоза в первично осадочных породах кейвской синклинали показало, что редкие и радиоактивные элементы в обломочных минералах ведут себя довольно инертно и при гранитизации могут не перемещаться, оставаясь на месте.

В последнее время появились сенсационные сообщения американских ученых о находках древнейших гранитов возрастом более 4 млрд лет в Гренландии, Южной Африке, Западной Австралии. Поскольку возраст их определялся уран-свинцовым методом по циркону, следовало бы проверить, не завышен ли он? Как мы видим, циркон сохраняется при гранитизации. Более надежно для датировки архейских пород определение возраста по полевым шпатам, слюдам или темноцветным минералам рубидий-стронциевым или самарий-неодимиевым методом. ■

Твердое пламя и лазер: синтез объемной керамики

И.В.Шишковский, М.В.Кузнецов, Ю.Г.Морозов

Историческая справка

Керамика известна еще со времен неолита. Сейчас без керамических изделий даже трудно представить нашу повседневную жизнь и многие производства. Изобретались новые технологии, возникали материалы, получаемые спеканием металлических и керамических порошков. Появились пенокерамика, огнеупоры, различные виды технической керамики, керметы (керамико-металлические материалы) и, наконец, в эру высоких технологий — «умная» керамика. Начало ей положило крупное научное открытие, сделанное в 1967 г. А.Г.Мержановым, И.П.Боровинской и В.М.Шкиро, сотрудниками филиала Института химической физики АН СССР.

Открытие было зарегистрировано как «явление волновой локализации твердофазных автотормозящихся реакций». Проще говоря, был открыт процесс, названный твердым пламенем. В этом процессе исходные реагенты, взаимодействуя между собой, выделяют так много тепла, что образуется фронт горения. Он распространяется по системе и превращает твердые реагенты в твердые продукты — тугоплавкие вещества. Иными словами, протекает самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). Так было положено начало исследованиям целых классов реакций

© Шишковский И.В., Кузнецов М.В., Морозов Ю.Г., 2009



Игорь Владимирович Шишковский, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории технологических лазеров Самарского филиала Физического института им.П.Н.Лебедева РАН. Область исследований — взаимодействие концентрированных потоков энергии с материалами, лазерные технологии, технологии лазерного синтеза объемных изделий.



Максим Валерьевич Кузнецов, доктор химических наук, заведующий лабораторией Института структурной макрокинетике и проблем материаловедения РАН. Занимается исследованием процессов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), свойств сложных оксидных материалов, влияния электрических и магнитных полей на процессы и продукты горения.



Юрий Георгиевич Морозов, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник того же института. Область научных интересов — электрические и магнитные явления в самораспространяющемся высокотемпературном синтезе, влияние электрических и магнитных полей на процессы и продукты горения, ферромагнетизм, высокотемпературная сверхпроводимость.

взаимодействия химических элементов в режиме горения в соответствии с механизмом твердого пламени. В результате этого синтезируются ценные тугоплавкие соединения: карбиды, бориды, нитриды и т.д.

В таких соединениях нуждалась техника, но их производство было несовершенным — энергоемким и с малым выходом продукта. СВС же, протекающий с большой скоростью, обеспечивает высокую

производительность. А требуемая для синтеза высокая температура достигается не за счет потребления энергии, а за счет тепла, выделяемого в результате химической реакции.

Авторы открытия вместе с несколькими коллегами уже в 1970-х годах начали получать разнообразные продукты горения, вовлекли в процессы СВС более дешевые реагенты и продолжали теоретические разработки твердопламенного синтеза. Технологии СВС были внедрены на Украине и в Армении в производство шлифовальных паст из карбида титана. В середине 1980-х годов были созданы Межотраслевой научно-технический комплекс (МНТК) «Термосинтез» и 15 производственных центров. Твердое пламя приобрело промышленный статус: стали получать керамические порошки и изоляторы, азотированные ферросплавы, режущие пластины и другую продукцию. В 1992 г. промышленность выпустила около 2000 т СВС-продуктов, планировалось перестроить производство на СВС-технологии, где это возможно и целесообразно. Но финансирование МНТК прекратилось...

Тем временем СВС признали в других странах, правда, не сразу. Через 10 с лишним лет после открытия начались работы в этой области в США. Это произошло под влиянием публикации Дж.Крайдера «Самораспространяющийся высокотемпературный синтез — советский метод получения керамических материалов» (J.F.Crider. Self-Propagating High Temperature Synthesis — A Soviet Method for Producing Ceramic Materials). В США следили за развитием советских работ по СВС, однако какое-то время считали этот метод только экзотикой, красивым процессом, но практического значения не видели. Лишь после создания в СССР производства на базе СВС-технологий к твердопламенному синтезу стали относиться всерьез.

В начале 1980-х годов к изучению СВС приступили в Японии. Сейчас эта страна — одна из передовых в развитии СВС. А вообще исследованиями в этой области занимаются 49 стран мира, быстрее всех развивается она в Китае.

Азбука СВС

Этот метод очень сложен, в волне горения протекает множество физических, физико-химических и химических процессов [1]. Совместно они и обеспечивают выделение того количества тепла, которое необходимо для синтеза целевого продукта.

Реагентами могут быть такие вещества (в виде мелкодисперсных порошков или пленок*), при

* Реагентами СВС бывают также жидкости и газы, а системы, в которых протекает СВС, могут быть гибридными, например, состоять из порошка и жидкости, порошка и газа, газовой взвеси и др.

взаимодействии которых выделяется много тепла, а при высокой температуре горения образуются твердые продукты. К числу подобных реагентов относятся химические элементы, индивидуальные соединения, многофазные структуры. Наиболее популярны следующие реагенты: H_2 , B, Al, C, N_2 , O₂, Mg, Ti, Nb, Mo, Si, Ni, Fe, B_2O_3 , TiO_2 , Cr_2O_3 , MoO_3 , Fe_2O_3 , NiO и др. Используются также минеральное сырье и промышленные отходы.

Сильноэзотермичная реакция возбуждается (например, электроискровым разрядом) на поверхности выбранной системы реагентов, скажем, смеси тонкодисперсных порошков химических элементов. За счет передачи тепла от одного слоя порошка к другому зона реакции (волна горения) перемещается по смеси до тех пор, пока вся система не превратится в твердый конечный продукт.

Чтобы понять механизм твердопламенного синтеза, отыскать способы управления им, определить оптимальные условия и возможность использования на практике, исследовались и сам процесс, и его продукты. Иными словами, проводилась экспериментальная диагностика СВС, причем не процесса вообще, а именно конкретной системы или класса похожих систем.

За время, прошедшее с открытия СВС, очень многие его характеристики уже изучены, определены величины, которым чаще всего следуют в экспериментах или на производстве. Это — мощность зажигания ($10\text{--}200$ кал/см²·с), его задержка (0.2—1.2 с) и температура (800—1200 К), температура горения (400—3800 К) и его скорость (0.01—20 см/с), скорость, с которой нагревается вещество в волне ($10^3\text{--}10^5$ град/с). Судя по характеристикам, СВС вполне можно отнести к экстремальным химическим процессам.

Среди процессов, в которых используется СВС, наиболее распространены реакции:

— синтез из элементов ($Ti + C = TiC$; $Ni + Al = NiAl$; $3Si + 2N_2 = Si_3N_4$; $Zr + H_2 = ZrH_2$),

— окислительно-восстановительные (например, $B_2O_3 + 3Mg + N_2 = 2BN + 3MgO$),

— окисления металлов в сложных окислительных средах ($Nb + Li_2O_2 + 1/2Nb_2O_5 = 2LiNbO_3$; $8Fe + SrO + 2Fe_2O_3 + 6O_2 = SrFe_{12}O_{19}$) и др.

Известны также реакции синтеза из соединений по типу $PbO + WO_3 = PbWO_4$.

Образующиеся при СВС продукты разнообразны. Это порошки разной дисперсности, конгломераты частиц, пеноматериалы, пленки, волокна, кристаллы и др. В перемешанных системах образуются однородные продукты, а в гибридных (пористое тело — газ) — неоднородные, многослойные. Метод СВС позволяет получать индивидуальные неорганические вещества: бескислородные тугоплавкие соединения, оксиды, интерметаллиды, халькогениды, фосфиды, гидриды и др.; восстановленные элементы (бор, титан, молибден и др.); гетерогенные материалы (керамику, метал-

ло- и минералокерамику, композиты). Можно получать и органические соединения, например пиперазин манолат, хингидрон, ферроцерон и даже полимеры.

Мы привели чрезвычайно краткое, поверхностное описание СВС, на самом деле это, как говорят, процесс наукоемкий. Чтобы понять его, необходимы знания термодинамики, кинетики химических реакций, материаловедения и многих, многих других областей.

Продолжение и модификация

Роковой для МНТК 1992-й год, к счастью, не стал таковым для Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН, созданного в период существования «Термосинтеза». Продолжаются работы в той области, которая казалась только экзотической, а теперь превратилась в отдельную область научно-технического прогресса. Исследования ведутся также в Самарском филиале Физического института им. П.Н. Лебедева РАН. В обширной среде специалистов СВС никто не относится к этим процессам равнодушно. По словам одного из бывших противников твердопламенного синтеза, «...от СВС можно ожидать всего. Если не знаешь, как решить задачу, попробуй это сделать методом СВС».

Фундаментальные идеи, послужившие основой для СВС, заложены еще в трудах Д.А. Франк-Каменецкого, Н.Н. Семенова, Я.Б. Зельдовича и других выдающихся ученых. Ныне метод развивается как самостоятельное научно-техническое направление в науке о горении, которое со временем стало называться структурной макрокинетикой.

В настоящее время уже стала понятной роль внешних энергетических и временных условий для осуществления самораспространяющихся реакций горения. Выяснены также особенности их протекания в зависимости от свойств горящей системы. Сегодня главная задача структурной макрокинетики — изучить процессы высокотемпературной самоорганизации, которые обеспечили бы не только синтез требуемых материалов, но и формирование их структуры и свойств.

Это очень заманчивое для практических целей направление, но в нем немало весьма непростых проблем. Связаны они в основном с тем, что процессы СВС многостадийны и слабоуправляемы. Кроме того, возникают трудности с получением нужной формы конечного продукта. Она может существенно отличаться от изначально запланированной, и тогда продукты синтеза потребуют дополнительной (иногда дорогостоящей) механической обработки.

Понятно, следовательно, насколько важен поиск путей и средств для управления процессами СВС. Одной из наиболее привлекательных идей

в настоящее время признано совмещение СВС с каким-либо другим энергетическим воздействием — ультразвуком, лазерным облучением, пропусканием электронного пучка и т.д. С помощью подобных приемов можно эффективнее управлять скоростью, температурой и полнотой протекающих процессов, а также составом, структурой и свойствами продуктов. К факторам энергетического воздействия относятся, в частности, внешние электромагнитные поля. Они не только вносят дополнительный тепловой вклад, но и при определенных частотах могут вызвать ряд резонансных явлений в системе «порошковая смесь + конечный продукт синтеза». Как источник внешнего электромагнитного поля чрезвычайно перспективным представляется лазерное излучение. Это один из способов вызвать резонансное состояние, притом способ точечного действия, легко управляемый и мало энергоемкий [2].

Не менее актуален для современного материаловедения синтез «умных»* (по-англ. «smart») материалов и создание из них изделий. Цели синтеза — достичь высоких прочности, твердости, термического и/или электрического сопротивления, фильтрующих свойств, биологической, химической и/или каталитической активности и т.д. Такие материалы можно использовать в деталях машин автомобильной, аэрокосмической, химической, фармацевтической промышленности, в военной технике и ядерной индустрии. Иными словами, применяют их везде, где требуется повышенная износ- и коррозионная стойкость, где необходимо целенаправленно распределять напряжения, структурировать или управлять тепловыми и (или) гидродинамическими потоками.

Принцип конструирования «умных» материалов включает выбор каких-либо характеристик, присущих отдельным фазам (металлу, керамике, стекловолокну, полимеру или просто пространству пор), и оптимальное распределение их свойств.

Создание «умных» материалов и изделий начинается с проектирования, т.е. расчета непрерывного распределения фаз, компонентов, свойств, чтобы обеспечить желаемые функции (термические, электромагнитные, биохимические) будущего устройства. Способствует достижению этих целей интенсивно развивающаяся в настоящее время технология **быстрого прототипирования (Rapid Prototyping)** [3]. По данным предварительных расчетов средствами автоматического проектирования (САПР) сначала строится компьютерная трехмерная модель изготавливаемого объекта. В соответствии с ней с помощью специальной программы формируют поперечные сечения, послойно располагают их в процессе синтеза и комбинируют слои из конкретного материала.

* Такие материалы иногда называют еще функционально градиентными, поскольку их свойства меняются от одной поверхности материала к другой.

Для этого существуют разные методики. Таким образом, строится не только общий вид трехмерного изделия, но и моделируется структура с градиентным распределением выбранных свойств. После того как компьютер «изготовил» слоистое изделие, его модель воспроизводится в натуральную величину. Изделие буквально выращивают: слои порошка поочередно располагают один над другим и «склеивают» между собой, пока не получится нужный образец.

Технология быстрого прототипирования позволяет резко ускорить и удешевить внедрение новой техники на всех этапах — от конструирования и проектирования изделия до создания его первоначального макета в натуральную величину. Фантасты прошлого предполагали, что в дальних походах и межзвездных одиссеях человечеству нет необходимости брать с собой все современные машины и орудия труда, их можно создать на месте. Не исключено, что эти прогнозы осуществляются благодаря успехам технологии СВС.

В настоящее время известно несколько десятков методик и готовых коммерческих установок быстрого прототипирования. Одни из них экзотичны (например, метод послойного замораживания воды для выращивания трехмерных изделий из льда), другие уже коммерчески успешны. Это лазерная стереолитография на основе жидких олигомеров, **селективное** (т.е. локально избирательное) **лазерное спекание/плавление** (СЛС/П) порошковых композиций, так называемая трехмерная печать, склеивание раскроенного листового материала. Нас привлекает лазерное спекание, потому что, в отличие от других методик, с его помощью можно формировать функциональные изделия, а не только их прототипы (макеты и модели).

Мы впервые совместили технологические процессы СВС и лазерного спекания в 1999 г. [2]. Реакцию СВС проводили точно в пятне лазерного луча при его движении по поверхности порошковой композиции. Это были композиции на основе та-

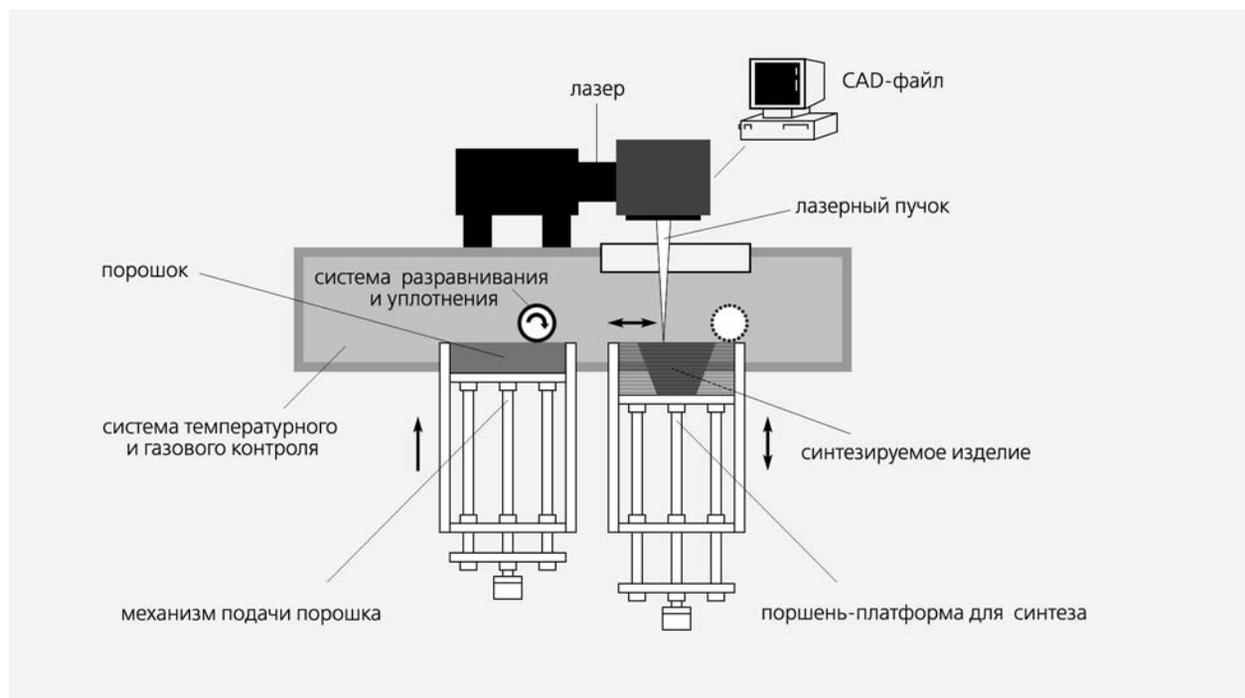


Схема проведения процесса, в котором самораспространяющийся высокотемпературный синтез объединен с селективным лазерным спеканием порошковых композиций. Порошковая смесь подается с помощью специального механизма на одну из двух цилиндрических платформ с регулируемым (с точностью до нескольких микрометров) перемещением в вертикальном направлении. Необходимая для создания монослоя порция смеси переносится на другую «рабочую» платформу, где разравнивается и «утрамбовывается». Далее осуществляется послойный синтез трехмерного изделия за счет спекания лазерным излучением (источником управляет компьютер). Спекание проводится на воздухе, в атмосфере азота или аргона, при повышенной или пониженной температуре окружающей среды. Неиспользованный порошок «поддерживает» изделие в процессе его создания, но может быть употреблен вторично (т.е. технология безотходная). Если мощность лазерного источника высока, спекание переходит в переплавку, благодаря чему удается получить практически литое изделие, которое иногда полезно для некоторых практических приложений. CAD-файл — компьютерная трехмерная модель изготавливаемого объекта. Колесико над второй платформой — положение разравнивающего ролика в конце каждого цикла. Стрелка над платформами показывает направление перемещения разравнивающего ролика для этого объединенного процесса.

ких интерметаллидных систем, как Ni-Al, Ti-Al, Fe-Ti или Ni-Ti. Именно пространственно-селективное спекание с высоким разрешением и строгим дозированием энергии лазера позволило нам управлять реакцией СВС и четко выдерживать форму синтезируемого объекта.

Технологический процесс лазерного спекания сейчас не обходится без профессиональных средств автоматического проектирования. Благодаря ему удастся строить модели будущих функционально-градиентных материалов не только поатомно, но и отдельными блоками реагентов — частицами порошка, зёрнами или доменами микроструктуры. Это соответствует задачам проектирования изделий на **мезоуровне** (от 10 мкм до 10 мм). Меняя концентрацию, плотность и/или степень упаковки (связности) таких блоков, можно создавать интеллектуальные микроустройства (micro-mechanical systems / nano-mechanical systems / electro-mechanical systems, MEMS/NEMS) — имплантаты, сенсоры, фильтры, пьезодетекторы, пьезонасосы и т.д. Подобные функциональные устройства представляют собой не просто набор микро- или мезоструктурных компонентов. Каждый отдельный блок (частица, зерно, домен) связан и взаимодействует с другими, а также с окружающей средой. По сути это открытая система, разделенная на иерархические соподчиненные уровни.

Найти оптимальные и контролируемые условия для объемного синтеза (т.е. слой за слоем) — задача не из простых. Мы начали с определения наиболее подходящих режимов лазерного спекания отдельных монослоев. Прежде всего добились, чтобы ни один из них не разрушался от внешнего прикосновения (например, разравнивающим порошок роликом) и не деформировался. Затем приступили к поиску режима, который обеспечивал бы хорошую спекаемость монослоев между собой. Правда, не было гарантии того, что это качество сохранится при дальнейшем послыном синтезе целого изделия. Чрезмерно перегретая лазером смесь может «сорваться» в неконтролируемый режим горения (его называют тепловым взрывом). Очевидно, что оптимального состояния можно достигнуть лишь в том случае, если при контролируемом совмещении процессов СЛС и СВС некоторая часть исходной порошковой композиции не провзаимодействует до конца [4]. Тогда при нанесении и связывании следующего монослоя с предыдущим непрореагировавшая порошковая смесь досинтезируется и скрепит объемную структуру. Если же структурно-фазовое превращение в отдельном монослое полностью завершится, условия спекания и теплофизические свойства исходных материалов и продуктов СВС будут значительно отличаться друг от друга и подобрать оптимальный режим просто не удастся.

Контролируемым режимом совмещения СВС и СЛС достигается протекание экзотермической

реакции точно в пятне обработки (так называемый диффузионный режим СВС) [2, 4]. Тогда на поверхности образца это отчетливо проявляется в виде прямоугольной площадки, где только и осуществляется селективное спекание. Если оптимального режима лазерного воздействия достичь не удастся, реакция СВС идет бесконтрольно, во все стороны от зоны действия лазерного луча, и заканчивается, когда прогорит весь насыпанный порошок. Такой финал был у нас, когда мы работали с порошковой смесью двух металлов — Ni + Ti (соотношение 1:1).

Успешно совместив процессы СВС и СЛС для синтеза упомянутых интерметаллидных систем, мы продолжили работу в этом направлении. К настоящему времени мы объединили твердопламенный синтез и лазерное спекание (а в некоторых случаях и синтез трехмерных — 3D — изделий) еще в нескольких порошковых композициях:

— металлов в реакционно-активном газе (Ti + O₂; Ti + N₂; Al + N₂) для синтеза оксидов или нитридов;

— смеси оксидов металлов (TiO₂ + ZrO₂ + PbO; Al(Al₂O₃) + Zr(ZrO₂)) для синтеза пьезокерамики Pb(Zr_xTi_{1-x})O₃ [5] и биокерамики [6];

— смеси железа с оксидами металлов (например, Li₂CO₃ + Fe₂O₃ + Cr₂O₃ + Fe; BaO₂ + Fe₂O₃ + Cr₂O₃ + Fe) для синтеза ферритовых материалов, таких как Li_{0.5}Fe_{2.5-x}Cr_xO₄ и BaFe_{12-x}Cr_xO₁₉, соответственно [7].

Нам удалось получить объемные изделия и другим способом. Сначала организовали традиционный твердопламенный синтез требуемых фаз (интерметаллидных, сегнетоэлектрических, ферромагнитных, ВТСП), а потом проводили жидкофазное спекание (плавление). Такими порошковыми СВС-материалами были никелид титана, смесь готовой ЦТС*-керамики с наполнителем, высокотемпературная сверхпроводящая керамика YBa₂Cu₃O_{7-x}, гексаферрит стронция.

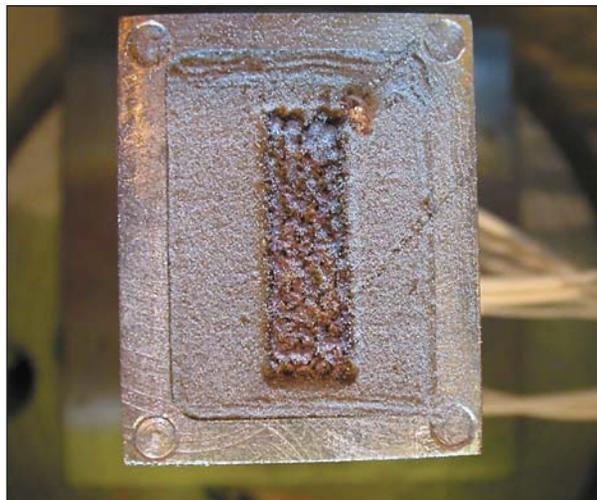
Удовлетворяемые потребности

Керамические материалы на основе твердого раствора цирконата-титаната свинца Pb(Zr_xTi_{1-x})O₃ традиционно изготавливаются в виде монокристаллических композитов. После формования они поляризуются и очень широко применяются в технике благодаря наличию в них сильного пьезоэлектрического эффекта. Методом совмещения твердопламенного синтеза и лазерного спекания мы получили пористую ЦТС-керамику [5]. Она чрезвычайно интересна как для гражданских, так и для военных приложений. За счет более низкой, чем у монокристаллической ЦТС-керамики, плотности (~3–4 г/см³ против ~7.9 г/см³) у пористой керамики выше коэффициент акустического согласования с окружающей

* ЦТС — это цирконат-титанат свинца.



Объемный образец никелида титана (NiTi-фаза — нитинол), синтезированный в аргоне при $T = 500^\circ\text{C}$ (в сотрудничестве с ENISE, France).



Поверхность спеченного монослоя (прямоугольник в центре) порошковой композиции Ni-Ti (1:1). Мощность лазера 14.3 Вт, скорость перемещения луча 21 мм/с.

средой. Кроме того, близки плотности живой ткани или воды и пористой ЦТС-керамики. Поэтому ее можно использовать в качестве пьезодетектора и получать больше информации при изучении таких сред, как живая ткань (в медицинской УЗИ-диагностике) и вода (в гидролокации).

Сейчас уже получены функционально градиентные изделия из готовой ЦТС-керамики с наполнителями — поливинилиденфторидом (он и сам обладает пьезосвойствами) или кварцевым песком (SiO_2). Градиент свойств изделия формируют за счет варьирования условий укладки, степени взаимного проникновения пьезо- и сегнето-

электрических фаз и параметров лазерного спекания. Благодаря расчету и компьютерному моделированию мезоструктуры сегнетоэлектрических фаз и пространства пор созданы разные интеллектуальные устройства с уникальными физическими характеристиками. Среди этих керамических устройств — пьезосенсоры, сегнетоэлектрические фильтры, детекторы излучения, микронасосы. Из числа последних — микронасос для поддержания артериального давления при патологии сердечного клапана.

Современной электротехнике требуются конструкционные материалы с особыми электричес-



Внешний вид образца титана, полученного методом СЛС на воздухе при отсутствии контроля. В центре отчетливо виден квадрат, который предназначался к обработке.



Объемное изделие, синтезированное из смеси готовой керамики на основе твердого раствора цирконата-титаната свинца. Наполнителем служит SiO_2 .



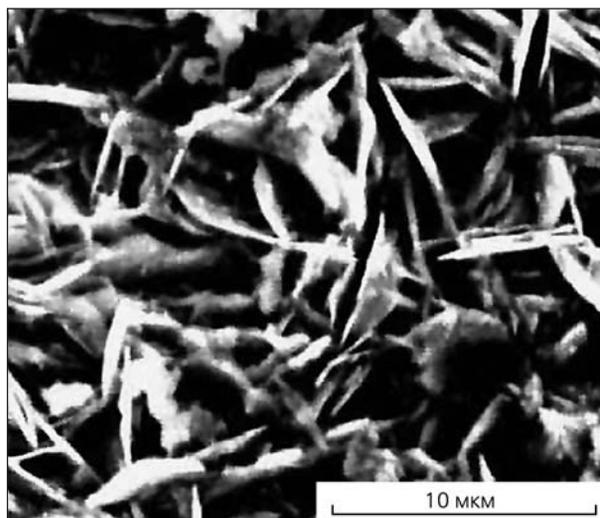
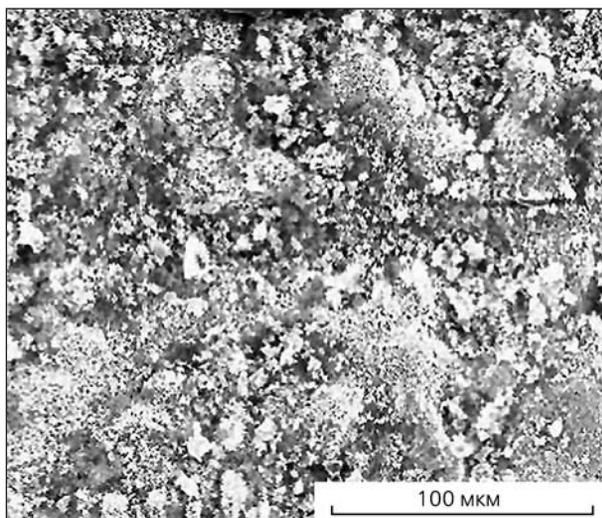
Пористое объемное изделие, спеченное из порошка гексаферрита стронция ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$).

кими, магнитными или электромагнитными свойствами, например ферриты. Традиционный технологический процесс их получения состоит из многих стадий. Сначала из оксидов или термически разложенных солей металлов готовится ферритовый порошок, затем его тщательно перемалывают, смешивают, прессуют, проводят сам процесс спекания (обжига) при высоких температурах и, наконец, формуют заготовки. Ферромагнитные материалы — ферриты — в настоящее время используются в качестве сердечников постоянных магнитов и катушек индуктивности, в СВЧ-фазовращателях, устройствах для магнитной записи информации, кредитных карточках и других электронных механизмах.

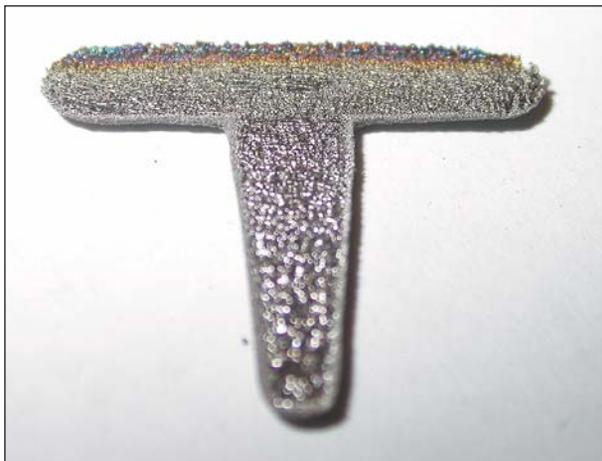
Получить магнито жесткие ферриты, например гексаферриты бария и стронция с заранее задан-

ными свойствами, тоже непросто. Основные трудности связаны с природой этих материалов, поскольку они представляют собой фазы переменного состава. Многие свойства таких ферритов определяются не только соотношением основных компонентов, но и термодинамическими параметрами синтеза, важнейшие из которых — температура и давление кислорода в газовой фазе. Кроме того, некоторые физические характеристики ферритов зависят от условий формирования структуры при спекании и от ее изменений в присутствии микропримесей или в ходе дополнительной термообработки. Например, добавка катионов хрома заметно улучшает магнитные свойства гексаферритных фаз. Увеличение температуры спекания и скорости охлаждения, обеспечиваемые лазерным воздействием, а также восстановительная атмосфера повышают содержание катионов Fe^{2+} в феррите и приводят к снижению его удельного электрического сопротивления.

Мы исследовали условия спекания при получении объемных изделий из порошковых смесей оксидов бария или стронция с добавкой железа и хрома. В результате были определены те параметры лазерного воздействия при совмещении СЛС и СВС, которые приводят к образованию требуемых фаз. Появилась возможность изучать влияние дополнительного отжига на синтез гексаферритов [7]. Мы определили фазовый состав синтезированных продуктов и объемные магнитные характеристики — они оказались вполне удовлетворительными. Оказалось, что приложение внешнего магнитного поля приводит к значительному упорядочению микроструктуры синтезируемых ферритовых фаз, а значит, позволяет эффективнее управлять их магнитными свойствами.



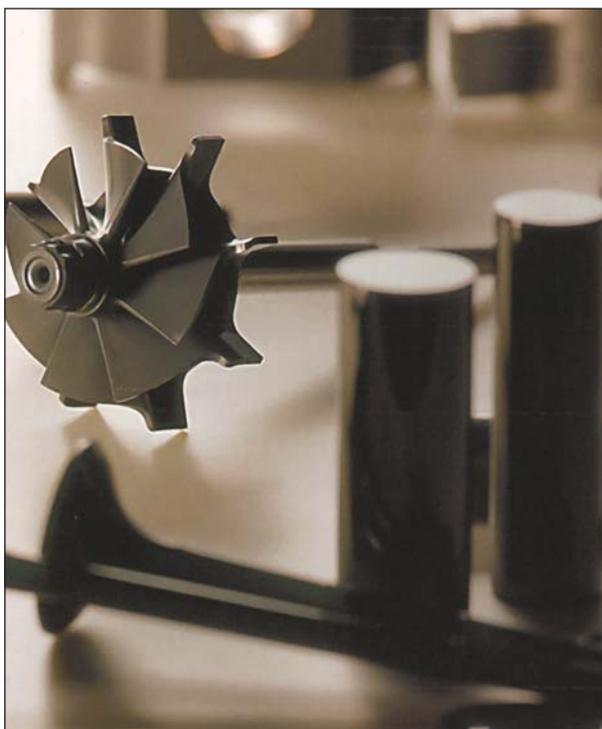
Микроструктура гексаферрита бария при совмещении СВС и СЛС (слева) и упорядоченная микроструктура такого же гексаферрита при проведении комбинированного процесса СВС-СЛС во внешнем магнитном поле. Упорядочение происходит за счет выстраивания магнитных частиц порошка исходной шихты вдоль силовых линий поля.



Образцы функциональных объемных изделий из никелида титана: штифт для протезирования зуба (слева) и коренной зуб.

Пористые материалы на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) могут быть почти идеальными ограничителями токов короткого замыкания. Помещенные в жидкий азот, проникающий по порам, они способны выдерживать критические токи, превосходящие таковые для литых ВТСП. Для твердопламенного синтеза в системах ВТСП необходимы одновременно и горючее, и окислитель. Именно реакция окисления металла обеспечивает необходимое для СВС выделение тепла. Кислород, выполняющий роль окисли-

теля, может поступать из двух источников: внутрореакционного (конденсированного легко разлагающегося нитрата, пероксида, перхлората и т.п.) и внешнего (кислорода воздуха или баллонного кислорода). Мы нашли режимы лазерного спекания для послойного синтеза и таких объемных образцов. Во время спекания каждый слой обрабатывали дважды, а платформу-основание, на поверхности которой и осуществлялся синтез, опускали через один цикл спекания монослоя. Мы убедились, что если исходная смесь содержит, на-



Примеры использования современной керамики трудно перечислить. Здесь приведены только некоторые узлы автомобильных двигателей и искусственная кость.

пример, сверхпроводник $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, можно подобрать режимы лазерного воздействия, которые позволят синтезировать качественные объемные изделия.

Мы экспериментально доказали (а потом запатентовали) возможность скоростного синтеза пористых функциональных медицинских имплантатов с заданными индивидуальными формами [8]. Порошковая композиция, примененная нами в твердопламенном синтезе с лазерным спеканием, содержала никель и титан; основной формирующей интерметаллидной фазой был никелид титана NiTi , называемый также нитинолом и обладающий замечательным свойством — памятью формы [9]. Чтобы повысить биосовместимость синтезированных имплантатов, исходную смесь порошков мы насыщали добавкой — гидроксипатитом [6, 10].

Послойный синтез трехмерных объемных изделий любой заданной формы (сенсоров, зажимов, биологических имплантатов) позволит создавать самостоятельно срабатывающие, фиксирующиеся и разворачивающиеся при нормальной температуре организма протезные элементы (например, конечностей и суставов). Благодаря этому ортопедия перейдет на качественно новый уровень. Пористость макроструктуры изделия, по нашему мнению, может оказаться положительным фактором [11], так как позволит обеспечить прорастание мягких тканей в имплантат, заполнение пор стерилизующими препаратами, будет способствовать повышению биологической совместимости и активизировать заживление.

Литература

1. Мержанов А.Г. Процессы горения и синтез материалов / Под ред. В.Т.Телепы, А.В.Хачояна. Черногловка, 1998.
2. Шишковский И.В., Макаренко А.Г., Петров А.Л. // Физика горения и взрыва. 1999. Т.35. №2. С.59—64.
3. Rapid Manufacturing: An Industrial Revolution for the Digital Age / Eds N.Hopkinson, R.J.M.Hague, P.M.Dickens. Hoboken; N.J., 2006.
4. Морозов Ю.Г., Нефедов С.А., Панин А.С. и др. // Известия АН. Сер. физическая. 2002. Т.66. №8. С.1156—1158.
5. Гуреев Д.М., Ружечко Р.В., Шишковский И.В. // Письма в ЖТФ. 2000. Т.26. Вып.6. С.84—89.
6. Шишковский И.В., Журавель Л.В., Петров А.Л., Тарасова Е.Ю. // Письма в ЖТФ. 2001. Т.27. Вып.5. С.81—86.
7. Шишковский И.В., Кузнецов М.В., Морозов Ю.Г. // Стекло и керамика. 2003. Т.60. №6. С.14—18.
8. Kuznetsov M.V., Morozov Yu.G., Parkin I.P., Shishkovsky I.V. // Journal Materials Chemistry. 2004. V.14. P.3444—3448.
9. Шишковский И.В. // Письма в ЖТФ. 2005. Т.31. №5. С.15—21.
10. Shishkovsky I., Smurov I., Morozov Y. // Applied Surface Science. 2007. V.254. №4. P.1145—1149.
11. Shishkovsky I.V., Volova L.T., Kuznetsov M.V. et al. // Journal Materials Chemistry. 2008. V.18. №12. P.1309—1317.
12. Kuznetsov M.V., Shishkovsky I.V., Morozov Y. G., Parkin I.P. // Materials and Manufacturing Processes. 2008. V.23. №6. P.571—578.
13. Shishkovsky I. // Applied Surface Science. 2009. V.255. №24. P.9902—9905.

Многими исследованиями доказано, что прочность связи между костью и имплантатом существенно повышается, если его поверхность грубая (шероховатая). Топография поверхности присоединения также должна согласоваться со структурой кости. Поскольку в человеческом теле кости различаются структурой, обеспечить прочность фиксации, надеясь только на прорастание, довольно трудно. Найденные нами подходы, таким образом, допускают новые типы фиксации протеза к поверхности кости — с учетом ее индивидуальных структурных особенностей [12, 13].

Не менее интересным представляется создание из объемной пористой керамики дозирующих интеллектуальных устройств. Если поры насытить лекарственным препаратом, при вживлении такого биоимплантата будет осуществляться дозированное растворение препарата.

* * *

Итак, в настоящее время в России формируется чрезвычайно перспективное технологическое направление, основанное на одновременном использовании энергии контролируемого лазерного излучения и самораспространяющихся реакций гетерогенного горения. Этим способом можно синтезировать сложные интерметаллические и керамические соединения, создавать изделия и интеллектуальные устройства с уникальными структурными и функциональными свойствами. Скоро, видимо, без таких устройств будет трудно представить и многие производства, и повседневную жизнь. ■

Николай Вавилов и Сталин

Неизвестная встреча 15 марта 1929 года

Я.Г.Рокитянский,
кандидат исторических наук
Москва

В личном фонде И.В.Сталина в Российском государственном архиве социально-политической истории (РГАСПИ) хранится документ, озаглавленный «Запись беседы тов. Сталина с представителями с/х опытных учреждений. 15 марта 1929 года». Беседа отражает отношение Сталина к ученым-аграриям в начальный период насильственной коллективизации. Здесь читатель сможет впервые ознакомиться с выступлением Николая Ивановича и его коллег — специалистов в области селекции по кардинальным проблемам развития селекционной работы в стране, а также получит уникальную возможность узнать о манере общения Сталина с учеными, о характере и лексических особенностях его реплик и, что особо примечательно, о недостававшем ранее первоначальном звене в цепи отношений академика Н.И.Вавилова и В.И.Сталина.

Запись беседы не была опубликована в Полном собрании сочинений Сталина. Возможно, он не придавал этой встрече особого значения. В «Биографической хронике (1928 — март 1929)», опубликованной в 11-м томе собрания сочинений Сталина, эта встреча даже не упоминается, в отличие, например, от его беседы «с делегацией украинских писателей». Не исключено также, что причина кроется в другом. Среди тех, с кем встречался Сталин, находились ученые, которые по его приказу были отправлены на тот свет

в годы «большого террора» и в последующее время. Появление фамилий академиков Н.И.Вавилова и Н.М.Тулайкова как собеседников Сталина, видимо, было сочтено неуместным в собрании его сочинений.

До сих пор сохранились сведения о двух встречах Николая Ивановича со Сталиным. Одна относилась к 1935 г. Предоставим слово племяннику Николая Ивановича, Виктору Сергеевичу Вавилову, который присутствовал при разговоре братьев Вавиловых, обсуждавших ее: «В коридоре Кремля дядя Коля остановился и наклонился, открыв свой большой портфель (обычно он был наполнен журналами и книгами). Он собирался достать из портфеля документ, необходимый для разговора с кем-то из кремлевских руководителей. Дядя Коля увидел приближающегося к нему Сталина. Вдруг дядя Коля понял, что Сталин его узнал, перехватив его взгляд. Дядя Коля хотел поздороваться со Сталиным и что-то ему сказать. Однако Сталин, увидев его, быстро исчез, войдя в одну из дверей в коридоре. Дядя Коля ждал его некоторое время, но Сталин так и не вышел из комнаты. У дяди Коли возникло неприятное ощущение. Он почувствовал, что Сталин его испугался» [1. С.199].

Другая встреча состоялась в ноябре 1939 г. Н.И.Вавилов пришел на прием к Сталину в его кремлевский кабинет и безуспешно пытался изменить его отношение к генетике и работе ВИРа. Генсек встретил его словами: «Это вы Вавилов, который занимается цветочками, листоч-

ками, череночками и всякой ботанической ерундой, а не помогает сельскому хозяйству, как это делает академик Лысенко Трофим Денисович» и грубо оборвал рассказ Николая Ивановича о работе института словами: «Вы свободны, господин Вавилов» [2. С.220].

Теперь на основании публикуемого документа можно говорить о неизвестной встрече 15 марта 1929 г. Это позволяет читателям получить представление о том, как начиналось развитие событий, которое привело в конце концов к гибели всемирно известного ученого 26 января 1943 г. в Саратовской тюрьме НКВД №1 [3].

К середине марта 1929 г. Вавилов был уже бесспорным и признанным всеми лидером сельскохозяйственных наук. К этому времени он обрел всероссийскую и международную известность. В 1921—1929 гг. он — профессор Ленинградского сельскохозяйственного института по кафедре генетики и селекции, в 1923 — 1929 гг. — директор Государственного института опытной агрономии в Ленинграде, в 1924—1940 гг. — директор Всесоюзного института прикладной ботаники и новых культур при Совнаркомом СССР (с 1930 г. Всесоюзный институт растениеводства — ВИР). В 1926 г. в числе первых ученых был награжден Ленинской премией, 12 января 1929 г. стал академиком.

Выдвижение беспартийного ученого, сына бежавшего в Болгарию известного московского капиталиста, на передний план в руководстве сельскохозяйст-



Николай Иванович Вавилов.

венными науками, назначение его главой научных институтов, финансирование его многочисленных зарубежных научных командировок объяснялись тем, что научная деятельность Вавилова высоко оценивалась как коллегами в стране и за рубежом, так и некоторыми лидерами новой власти, в частности управляющим делами Совнаркома Н.П.Горбуновым. Это нашло подтверждение и в рекомендациях, которыми сопровождалось его избрание в Академию наук СССР [4. С.133–143].

Встречу с Вавиловым и его коллегами следует связывать с подготовкой предстоящего 21 марта 1929 г. заседания Политбюро ЦК, на котором должен был решаться вопрос о проведении XVI конференции ВКП(б), где предполагалось рассмотреть

вопрос о путях подъема сельского хозяйства. Накануне Сталин решил узнать, что думают по этому поводу ведущие селекционеры. Подобные встречи со специалистами были в обычае у Сталина. Достаточно взглянуть на длинный список посетителей его кремлевского кабинета, чтобы понять, что он использовал эту форму общения перед принятием ответственных решений. Как правило, такие встречи не стенографировались. Публикуемый документ можно считать исключением.

Выступление Вавилова носило программный характер. Он первым взял слово и говорил дольше, чем другие. Это соответствовало его лидирующему положению в сельскохозяйственных науках. Выступление Николая Ивановича отличалось кри-

тическим подходом к ситуации в селекционном деле. Вавилов рассмотрел проблему широко, с учетом зарубежного опыта, с которым был хорошо знаком. Он наметил семь направлений работы по преодолению недостатков и резюмировал пути их исправления в четырех пунктах. Это выступление не согласуется с утверждениями М.Поповского и В.Сойфера, что Н.И.Вавилов был конформистом и был вовлечен в «мифологию своего времени» [5. С.278; 6. С.100]. Как показывает его выступление 15 марта 1929 г. перед всеильным руководителем СССР, Николай Иванович был откровенен, говорил о «первобытном» состоянии опытных учреждений, катастрофической нехватке средств, сравнивал это плачевное положение с щедрым финансированием сельского хозяйства в Германии, Италии и других странах, обращал внимание на нищенское существование работников сельского хозяйства. Выступления других участников беседы, прежде всего Н.М.Тулайкова, также отличались деловитостью и конструктивностью.

Помимо сообщения Вавилова о состоянии опытной селекционной работы в СССР и путях ее усовершенствования, особый интерес представляет упоминание о том, что хотя речь о создании организации, объединяющей ученых-аграриев, шла еще на I Всесоюзном съезде Советов (1924), за прошедшие пять лет было сделано очень мало. В июне 1929 г. Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук была, наконец, создана. Не исключено, что выступление Николая Ивановича 15 марта 1929 г. было принято во внимание.

В свете публикуемого впервые выступления академика Вавилова по-новому предстает и предыстория VII Всемирного конгресса генетиков, который должен был состояться в Москве в августе-сентябре 1937 г., но был сорван Т.Д.Лысенко и его окружением. Исследователи считали, что идея созыва VII Всемир-

ного конгресса генетиков в Москве появилась на VI конгрессе, который проходил в г.Итаке (США) летом 1932 г. Однако из фразы Н.И.Вавилова «после конгресса в Вашингтоне решено — следующий конгресс созвать у нас» вытекает, что уже на V Всемирном генетическом конгрессе в Берлине, который проходил в 1927 г., было принято решение провести новый конгресс вначале в США, а затем, по предложению Вавилова, в Москве. Как известно, в конце концов он прошел в 1939 г. в Эдинбурге без участия советских генетиков, но предыстория его началась не в 1932 г., а гораздо раньше [7. С.199—238; 8. С.1113—1128].

По поводу реплик Сталина. Они передают особенности его весьма блеклой, иногда некорректной лексики и неэтичной манеры выражать свои взгляды. При этом нужно учесть, что текст беседы никто не правил. Он не приглашен и адекватно передает речь участников встречи. Публикуемая впервые запись показывает, что в научных дисциплинах генсек разбирался слабо. Его интересовала лишь возможность добиться нужного ему результата с наименьшими затратами, поэтому он тяготел к тем «специалистам», которые предлагали добиться сказочных результатов самым коротким путем. Как типичный утопист он предпочитал утопистов и в научной среде.

Сойфер утверждал, что Сталин вначале относился к академику Вавилову хорошо, а затем сменил милость на гнев. Публикуемый документ не подтверждает этого. Первые три реплики Сталина на выступление Николая Ивановича говорят об обратном. Чисто научный подход и критическая оценка положения дел в сельском хозяйстве явно раздражали Сталина, который вообще не любил независимо мыслящих ученых, державшихся с ним на равных. К тому же к академику Н.И.Вавилову с симпатией относились Н.И.Бухарин, А.И.Рыков и другие представители октябрьской элиты, которых Сталин как раз в это время вытаскивал на обочину политической жизни, а затем безжалостно уничтожил в годы «большого террора». Сталин знал, что в его конфронтации с этими людьми симпатии ученого были на их стороне.

Встреча имела последствия. Через шесть дней, 21 марта 1929 г., Политбюро ЦК приняло постановление, которое предусматривало выступления Вавилова и Тулайкова на XVI конференции ВКП(б). Она проходила 23—29 апреля 1929 г. Два ученых приняли участие в прениях по докладу М.И.Калинина «Пути подъема сельского хозяйства и налоговое облегчение середняка». Выступление Вавилова во многом перекликалось с сообщением, сделанным им 15 мар-

та. Тулайков также развивал мысли, прозвучавшие во время беседы со Сталиным, уделяя главное внимание учету мирового опыта сельского хозяйства, прежде всего США, решению конкретных проблем развития агрономической науки, подготовке кадров, совершенствованию опытного дела, популяризации достижений агрономической науки в массах хозяйствующего населения [9. С.346—351]. В мае 1929 г. Николай Иванович выступал на V съезде Советов, где говорил о роли кукурузы в развитии сельского хозяйства в стране.

Выступления Вавилова и других видных аграриев весной 1929 г. показывают, что они понимали проблемы, стоящие перед сельским хозяйством, и пути его развития. И вполне могли обеспечить успешный и ускоренный рост, если бы он шел по нормальному, эволюционному пути. Но стремление генсека подчинить своим авантюристическим целям сельскохозяйственную науку, как и многие другие научные отрасли, разрушили те перспективы, которые были намечены весной 1929 г. в речах Вавилова и его коллег. ■

В заключение благодарю члена Комиссии по сохранению и разработке научного наследия академика Н.И.Вавилова РАН Ю.Н.Гостева за ценные сведения о публикуемом ниже документе.

Литература

1. Вавилов Ю.Н. В долгом поиске. Книга о братьях Николае и Сергее Вавиловых. 2-е изд., доп. и перераб. М., 2008.
2. Лебедев Д.В., Колчинский Э.И. Последняя встреча Н.И.Вавилова с И.В.Сталиным (интервью с Е.С.Янушевским) // Репрессированная наука. Вып. II. СПб., 1994.
3. Суд палача. Николай Вавилов в застенках НКВД. Биографический очерк. Документы / Сост. Я.Г.Рокитянский, Ю.Н.Вавилов, В.А.Гончаров. 2-е изд. М., 2000.
4. Рокитянский Я.Г. Предыстория избрания Николая Вавилова в действительные члены АН СССР // Научное наследие Н.И.Вавилова — фундамент развития отечественного и мирового сельского хозяйства. Материалы Международной научной конференции 25—26 ноября 2008 г. М., 2008.
5. Поповский М. Дело Вавилова (главы из книги) // Память. Исторический сборник. Вып. 2. М.; Париж, 1979.
6. Сойфер В. Власть и наука. История разгрома генетики в СССР. М., 1993.
7. Есаков В.Д. Николай Вавилов. Страницы биографии. М., 2008.
8. Рокитянский Я.Г. Драма в двух действиях. О VII Международном конгрессе генетиков // Вестник РАН. 2003. №12.
9. Шестнадцатая конференция ВКП(б). Апрель 1929 г. Стенографический отчет. М., 1962.

Запись беседы тов. Сталина с представителями с/х опытных учреждений 15 марта 1929 года

Присутствовали: Анцелович¹, Вавилов, Тулайков², Лисицын³, Чаянов⁴, Кудрявцев⁵, Писарев⁶, Бушинский⁷, Вирс⁸, Щеглов⁹.

Вавилов. — В постановке опытной с/х работы особенно крупные сдвиги отмечаются в Западной Европе к концу XIX и началу XX века. Развитие у нас опытного дела идет довольно быстро, сейчас число учреждений свыше 400. По ряду разделов в изучении с/х-ва мы стоим впереди других. Как пример укажу, что после конгресса в Вашингтоне решено — следующий конгресс созвать у нас. Но жизнь выдвигает в настоящее время новые требования. Огромность задач, которые поставлены перед страной, требует улучшения всей нашей работы. Те требования, которые выдвигаются, дают сильный импульс агрономии. Но желательно было бы устранить ряд недочетов. Отмечу некоторые из них: 1) Неравномерность развития опытного дела. На Севере нет опытных учреждений. Нет в Семиречьи. Мало на Урале, в Сибири, Закавказских республиках. Необходим ряд мероприятий к организации опытного дела в этих районах. 2) Мы отстали по ряду разделов с/х-ва. 1-й съезд Советов выдвинул идею создания С/х всесоюзной академии¹⁰. Прошло уже 5 лет, а осуществлено в этом направлении очень мало. И это не может не чувствоваться в ряде разделов агрономической науки. 3) Опытные учреждения в их основном строительстве не вышли из первобытного состояния. Усадьбы, оставшиеся от помещиков, полуразорены, работа ведется в довоенных масштабах. Наша минимальная нужда по РСФСР — 50 млн, а в нынешнем году впервые отпущено 1 млн, тогда как в Берлине на один институт по селекции затрачено за 10 месяцев 4 млн золотых марок. Сравнивая с Италией и другими странами, приходится констатировать нашу нищету.

Сталин. — Тут не только нищета — тут возможна безалаберность.

Вавилов. — 4) Наши лаборатории не оборудованы. Наши валютные требования на 5 лет — 10 млн. Мы не в состоянии выписывать иностранную литературу.

Сталин. — Иногда всякую макулатуру выписывали. Отказывает разве «Международная книга»?

Вавилов. — От нас требуют валюты, беря на себя посредничество в выписке.

Сталин. — На 700 тыс. в год выписывается всякой макулатуры.

Вавилов. — Наша обязанность быть на уровне мировой науки.

Сталин. — Когда говорят о недостатке валюты, имеют в виду не десятки, а сотни тысяч.

Вавилов. — 5) Специалисты по с/х-ву получают мало.

Сталин. — Это верно. До сего времени основное внимание было обращено на промышленность, а с вами несколько запоздало.

Вавилов. — Интересы дела требуют другого темпа. 6) Руководители опытных учреждений переобременены требованиями, нагрузками. Необходима директива из центра об учете бюджета времени опытного. 7) Еще большое место — наше издательство. Мы не можем на 80% подытожить работы опытных учреждений.

Сталин. — Сколько денег надо?

Чаянов. — Надо около 800 тыс. для ликвидации залежи. Была подана соответствующая записка Рыкову¹¹, но безрезультатно.

Вавилов. — Резюмирую то, что мною сказано. Необходимо:

- 1) развертывание новых опытных учреждений;
- 2) немедленное развертывание институтов Всесоюзной академии с/х-ва;
- 3) издание специального декрета о развитии научно-исследовательского агрономического дела;
- 4) надо дать директиву от имени партии к большому вниманию к работе научного агрономического дела.

Тулайков. — Форсирование опытного дела диктуется современными задачами с/х-ва. Наиболее остро стоит сейчас зерновая проблема. Главная трудность в том, что нам приходится самим разрешать проблему строительства зерновых крупных совхозов. Мы строим совхозы и колхозы-гиганты. А ведь опыта-то у нас нет, нам надо изучать то, что мы строим и чего добиваемся. Возьмем другие проблемы. Сырьевая проблема. Без научной проработки этих вопросов — двинуться мы не можем. Или вопросы экспорта. Вопросы качества зерна, стандартизации — везде надо прокладывать новые пути, самим нащупывать дорогу. Основной вопрос — поднятие урожайности по ряду проблем, нам надо вызвать глубокое, не рядовое внимание. Мы хотим помочь сделать лучше. Можем сейчас же дать рецепты удвоения-утроения урожайности. База есть, есть

у нас все данные. Но дело ведь не в одной технике. Под всю работу нужно подвести основной научный фундамент, иначе остановится все дело.

Вирс. — Я хочу коснуться вопроса о кадрах, о смене. Мы имеем крупных опытников-специалистов. А смены не имеем. Беда в том, что опытное дело не обслуживается в вузах. Сотни 2-3 должны готовиться в вузах, для опытного дела.

Чаянов. — Намеченный правительством темп поднятия урожайности 7% в год. Этот процент выше, чем тот, который был в Германии (2%). В опытном деле мы пока что кустари, а нам надо иметь свои научные фабрики. Селекционного зерна мы имеем по РСФСР — 2 млн га.

Сталин. — Надо бы 20.

Чаянов. — Опытников у нас 1800—2000 чел. Надо бы 4—5 тыс. Надо ускорить организацию Всесоюзной академии с/х-ва. Вот здесь мы свели то, что нам надо делать (вручает Сталину 2 книжки по опытному делу), мы знаем, что нам следует делать, но нам нужна ваша помощь, без нее мы быстро двигаться не можем.

Бушинский. — У нас нет сейчас достаточных кадров для проведения задач, выдвинутых партией и правительством. Методы нового строительства в с/х-ве до сих пор не выработаны. Сейчас научный работник должен работать с особым напряжением. То мнение, которое мы здесь выражаем, мнение всех работников с/х-венной науки. С/х науку надо поднять на большую высоту в интересах реконструкции с/х-ва. Мы убеждены, что Зернотрест через несколько лет будет говорить уже не о механизации, а об электрификации. 154 опытных учреждения при вузах находятся в жалком состоянии, на них отпускаются ничтожные суммы. Не проходя опытных учреждений, новые работники идут прямо на производство, потому что там больше платят, но для дела это — вред.

Кудрявцев (Урал). — За зерновой проблемой последуют новые: сырьевая, животноводческая и др. А имеются ли у нас достаточные кадры работников к обслуживанию этого? Вот вам пример из практики на Урале: рядом с опытной станцией находятся 2 новых зерновых совхоза. А что мы им можем дать, чем можем помочь? Организации труда в с/х-ве — тоже новая проблема. Скажу прямо, что у нас недооценивается опытное дело. Сейчас мы еще кое-как даем ответы на запросы к нам, а через 5 лет едва ли мы это сможем. Кадров не хватает. Ассистентам платят половину жалования агронома (30—80 руб.), и они растекаются в другие учреждения с более высокой оплатой. Районность работы не учитывается в достаточной степени. Если в одном месте изучают рожь, то нам говорят: к чему же вам другую опытную станцию по ржи? Темп работы наших работников необычайный, они быстро изнашиваются. Надо форсировать устранение недочетов, иначе через 5 лет нас будут упрекать в отсталости. Необходимо

обеспечить работникам опытного дела командировки за границу. Сравните нас с ВСНХ, нас, опытников, называют «божьими коровками»: сидим на учреждении и что хочешь, то с нами и делай, а мы и слова не скажем.

Сталин. — У меня полчаса времени. Позвольте мне ответить вам (*произносит большую речь*)¹². А теперь разрешите задать три вопроса.

1) Из области проблемы засушливости. Как показали себя семена «альбидум»? Применима ли эта пшеница для Украины?

2) Вопрос о перенаселенности деревни. Как вы расцениваете такой резерв, как Голодная степь?

3) Какова ваша оценка машино-тракторных станций?

Тулайков. — Пшеница «альбидум» отличается большим преимуществом по качеству зерна и засухоустойчивости. Но мы имеем и другие ценные сорта. Эта пшеница наиболее устойчива. Для Украины неприменима, это пшеница — нашего края с его особенностями. Голодная степь имеет исключительный интерес, но только с точки зрения хлопкового хозяйства.

Вавилов. — «Альбидум» — семена очень ценные по качеству, но не идеальные. Голодная степь ценна для хлопка и только, надо запретить заниматься там пшеницей. Засоленность земли в этой степи — ошибка, происшедшая от отсутствия синтеза работы инженера и агронома. (*О машино-тракторных станциях присутствовавшие затруднились дать ответ за отсутствием своего опыта*).

Вавилов. — Не найдете ли вы целесообразным поставить поднятые нами вопросы на Съезде Советов или партконференции?

Сталин. — Есть ли нужда на партконференции?

Вавилов, Тулайков. — Вам виднее.

Сталин. — После выступления на конференции выйдет ли на съезде?

Вавилов. — Выйдет. Надо немножко театрального искусства.

Сталин. — Дело не в театральном искусстве. На одном из этих собраний выступить следует. Не в словах, выступлениях, конечно, вопрос, сейчас все согласны строить и строят. Строят и те, кто хочет, и те, кто не хочет. Так уж выходит. Давайте, я посоветуюсь с товарищами, где поставить ваше выступление¹³.

Присутствующие. — Просим.

Сталин. — А какое ваше мнение о Зернотресте?

Тулайков и др. — Толк будет, и толк будет большой. Возможны ошибки, но не надо расхолаживаться от первых возможных неудач. Дело верное.

Примечания

¹ **Анцелович Наум Маркович** (1888—1952) — председатель ЦК профсоюза сельскохозяйственных рабочих. Член ВЦИК и ЦИК СССР.

² **Тулайков Николай Максимович** (1875—1938) — агроном, почвовед, с 1932 г. действительный член Академии наук СССР, заведующий кафедрой частного земледелия Агрономического института Саратовского университета, с 1929 г. — директор ВНИИ зернового хозяйства. Арестован в 1937 г. Расстрелян в 1938 г.

³ **Лисицын Петр Иванович** (1877—1944) — селекционер, растениевод. С 1935 г. — академик ВАСХНИЛ. В 1928—1929 гг. работал на Шатиловской опытной станции. Основатель и первый заведующий кафедрой селекции Тимирязевской сельскохозяйственной академии (ТСХА), автор районированных сортов. Фигурировал в следственном деле Н.И.Вавилова как его сторонник.

⁴ **Чаянов Сократ Константинович** (1882—1963) — агроном, в 1907 г. окончил Московский сельскохозяйственный институт (ныне ТСХА). В 1911—1923 гг. — сотрудник Воронежской сельскохозяйственной станции, в 1923—1928 гг. работал в Наркомате земледелия РСФСР и в Гидрометслужбе.

⁵ **Кудрявцев Николай** — сотрудник опытной сельскохозяйственной станции на Урале.

⁶ **Писарев Виктор Евграфович** (1882—1972) — агроном, селекционер. С 1920 до 1935 г. сотрудник отдела прикладной ботаники ГИОА, затем переименованного в ВИР, с 1925 г. заместитель директора института, организатор экспедиции в Монголию. В 1933 г. арестован, в 1934 г. освобожден благодаря заступничеству академика Н.И.Вавилова. С 1936 г. сотрудник, затем директор НИИ сельского хозяйства Нечерноземной зоны РСФСР.

⁷ **Бушинский Владимир Петрович** (1885—1960) — почвовед, агроном. С 1933 г. — профессор кафедры почвоведения ТСХА, в 1938—1948 гг. работал в Госплане СССР, член-корреспондент АН СССР (1939), академик ВАСХНИЛ (1948), ученик В.Р.Вильямса.

⁸ **Вирс Ян Янович** (1891—1949) — в 20-х годах помощник директора ГИОА, в 1924—1925 гг. проректор Ленинградского ветеринарного института, затем директор Института овощного хозяйства ВАСХНИЛ.

⁹ Сведения не обнаружены.

¹⁰ Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук (ВАСХНИЛ) была создана в июне 1929 г. При организации ВАСХНИЛ был сформирован ряд институтов общего значения. В ее состав вошли также уже существовавшие институты. Всего в составе академии к 1929 г. было девять институтов и библиотек. Институты узкого профиля стали создаваться с 1930 г. Президентом ВАСХНИЛ стал Н.И.Вавилов и оставался им до 1935 г.

¹¹ **Рыков Алексей Иванович** (1881—1938) — в 1924—1930 гг. председатель Совнаркома СССР и Совнаркома РСФСР, в 1937 г. арестован и в 1938 г. расстрелян.

¹² Текст речи Сталина в документе отсутствует. Отдельные ее положения могли быть использованы в его речи «К вопросам аграрной политики в СССР» на конференции аграрников-марксистов 27 декабря 1929 г. (*Сталин И.В. // Соч. Т.12. М., 1955. С.141—172*).

¹³ Этот вопрос был решен на заседании Политбюро ЦК ВКП(б) 21 марта 1929 г. На XVI конференции ВКП(б) выступили в апреле 1929 г. Н.И.Вавилов и Н.М.Тулайков. Николай Иванович выступал также в мае на V съезде Советов.

РГАСПИ. Ф.558. Оп.11. Д.1113. Л.65—69. Фотокопия оригинала. Машинопись. На л.65 сверху и на л.69 снизу идентичная пометка, сделанная чернилами: «Записано Б.Двинским. Т.Сталиным не просматривалось. Б.Двинский». Публикуется впервые.

© Публикация и примечания **Ю.Н.Вавилова** и **Я.Г.Рокитянского**

Непотопляемый: жизнь Евгения Михайловича Крепса

А.Н.Островский

Евгению Михайловичу Крепсу любопытства было выделено на десятилетия. И, по моему убеждению, именно оно помогло ему выстоять во всех тех испытаниях, что уготовила его долгая и очень непростая жизнь. Ему всегда было интересно — он жил наукой, открытиями, экспедициями и никогда не стеснялся удивляться.

Детство, Гражданская война и последствия национальной охоты

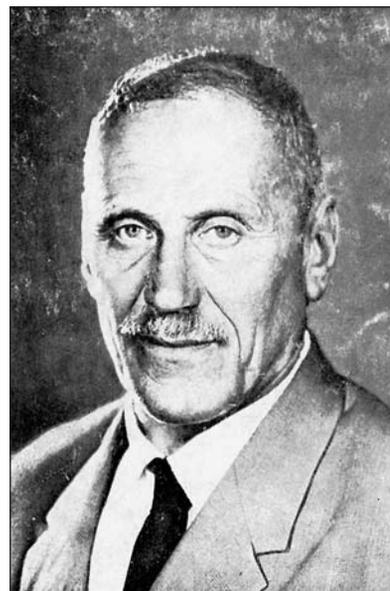
Евгений Михайлович Крепс родился 18 апреля 1899 г. в Санкт-Петербурге, в семье известного врача. Среди клиентов отца, уролога по специальности, были многие представители российской знати и влиятельные политики, поэтому семейство не бедствовало. В то же время в семье Михаила Крепса, истинного фанатика врачебного дела (утром больница, потом прием дома, вечером — визиты к больным), основным критерием ценности человеческой жизни была работа. Врач Крепс умер в возрасте 90 лет, продолжая работать до последнего дня. Обладая колоссальным опытом, он ставил диагнозы, уже будучи практически слепым: ассистент описывал ему увиденное с помощью инструмента-цистоскопа, и старый доктор давал рекомендации.

В семье Крепсов было четверо детей, три мальчишки (Женя был вторым по возрасту) и девочка. Лето они с матерью и учительницей французского языка проводили на даче на Карельском перешейке. На лодке

вместе со старшим братом Германом Женя часто пропадал на Финском заливе. У обоих очень рано появились мелкокалиберные винтовки (у Жени — уже в девять лет). Иной скажет: «вы только поглядите, люди добрые, как состоятельные родственники баловали молодых барчуков». Но здесь было другое — воспитание дисциплины и ответственности. Герману игры в следопытов и охотников, равно как и навыки стрелка, потом пригодились. Он стал инициатором и организатором Лапландского государственного заповедника на Кольском п-ове.

Братьев по очереди отдали учиться в Тенишевское коммерческое училище — частное учебное заведение, созданное князем Тенишевым в противовес классическим гимназиям и реальным училищам. Там на современном уровне преподавали естественные науки, математику и иностранные языки (кроме латыни и древнегреческого), учили также столярному делу, а летом регулярно проводили экскурсии в заповедные места и на крупные промышленные предприятия.

Училище считалось очень престижным. В нем обучались в основном дети из семей интеллигенции, крупных банкиров, промышленников, высокопоставленных чиновников и военных. Одновременно училище имело репутацию места, где витают вольнолюбивые идеи. Нет-нет да кого-нибудь из учителей увольняли за слишком уж смело высказанные мысли. Некоторые из них впоследствии стали университетскими профессорами. Кстати, коммерческим училище назвали потому, что Министер-



Евгений Михайлович Крепс*. 1976 г.

ство образования отказало ему в регистрации и пристроиться удалось лишь к Министерству торговли и промышленности, отсюда в списке предметов — экономическая география, товароведение и коммерческая арифметика.

Учились братья Крепсы блестяще. По окончании училища Герман поступил в сельскохозяйственный институт. Евгений же, еще школьником, несколько раз ездил к брату на практики, проходившие в лесничествах. Страсть к охоте сохранилась у братьев на всю жизнь. Окончив училище на все пятерки в конце 1916 г., Евгений встал перед выбором. Он мечтал поступить в университет и посвятить себя изучению морских птиц (очень любил птиц и мо-

* Фотографии и цитаты взяты из кн.: *ЕМ Крепс. О прожитом и пережитом.* М., 1989.

ре). Но отец видел сына врачом и подал его аттестат в Военно-медицинскую академию (ВМА).

Это было бурное время, особенно в Петербурге. Нехватка продовольствия, огромные очереди за хлебом. В рабочих районах возникали демонстрации, и полиция не могла контролировать ситуацию. Постоянные неудачи на фронте обострили социальные конфликты в стране, и, как результат, — грянула Февральская революция. Начался переход войск на сторону бастующего пролетариата. В семье Крепсов во все времена царили оппозиционно-демократические настроения, потому неудивительно, что Евгений оказался у здания Арсенала, когда солдаты начали раздавать оружие рабочим. Рослый выпускник коммерческого училища желал свергать царизм.

Интересный эпизод. Несмотря на стихийную стрельбу, занятия в высших учебных заведениях продолжались. Когда в ВМА на лекцию к знаменитому физиологу академику Ивану Петровичу Павлову, запыхавшись, вбежал опоздавший ассистент и, извиняясь, стал говорить, что на Невском стреляют, Павлов возмущенно обратился к студентам: «Вот вам русский ассистент! Как-то дураки стреляют, а для русского ассистента это основание, чтобы опоздать на лекцию!» Одним из стреляющих «дураков» как раз и был поступивший в эту же академию 18-летний Женья Крепс. Стрелял он тогда по чердакам, вернее — по спрятавшимся там полицейским, бившим пулеметом по демонстрантам.

Николай II отрекся от престола, а Крепс записался в рабочую милицию, создававшуюся на смену полиции. Особенно опасными были ночные дежурства, когда по милиционерам нередко стреляли из проносившихся мимо машин. Поскольку Евгений с детства хорошо разбирался в оружии, его назначили заведующим оружейным складом одного из отделений милиции. Он быстро навел там порядок, ин-

вентаризовал все имеющееся оружие, подобрал к ним патроны, завел строгий учет.

Летом 1917 г. Евгения Крепса зачислили в качестве слушателя первого курса в Военно-медицинскую академию. Положение в стране ухудшалось, что в конце концов вылилось в Октябрьскую революцию. На жизни семьи Крепсов это отразилось так же, как и на жизни многих семей интеллигенции. Их квартира превратилась в коммуналку, а мать Евгения стала квартирной уполномоченной. Кое-как пережили зиму, и после сдачи сессии Евгений по приглашению школьного друга уехал в Челябинск, погостить и поохотиться. Поездка эта заслуживает отдельного рассказа, поскольку все, что в ней произошло, могло случиться только в России и только в то время. Евгений на лето получил увольнительный билет, из которого следовало, что он является слушателем второго курса ВМА Рабоче-Крестьянской Красной Социалистической Армии, и уволен в отпуск по такое-то число. Знал бы владелец справки, чем для него обернется эта записка.

Добравшись до Челябинска, а потом и до хутора, на котором жил его друг, Евгений узнал, что власть в городе взяли восставшие чехи — сдавшиеся в плен русской армии и переправлявшиеся на Дальний Восток. Началась Гражданская война, и возвращение домой стало невозможным. Чтобы не быть нахлебником, Евгений вступил в местную сельскохозяйственную коммуну: кормил лошадей, учился косить на пароконной косилке. Так бы все, глядишь, и продолжалось, да не тут-то было. В коммуне появились казаки и забрали Крепса в Белую армию, где его зачислили в инженерный дивизион 6-й Уральской дивизии. Свой увольнительный билет Евгений предусмотрительно зашил в подкладку штанов.

В феврале 1919 г. его часть в эшелоне отправили на фронт. Поезд занял несколько не-

дель. В одной из башкирских деревень, у р.Белой, Крепса сильно контузило — он устранил обрыв телеграфного провода, когда по ним открыли огонь из орудия. Никто не чаял, что парень останется жив. От удара о землю отнялись ноги и отказали почки. Однако молодость взяла свое: уже через пару недель Евгения выписали из госпиталя. Поскольку Красная Армия была совсем близко, он решил перебежать к своим. Тайком ушел из части, переждал ночь и утром на лодке добрался до противоположного берега. Там он встретил разведку передовых отрядов армии Тухачевского и помог им переправиться на «белый» берег. Сам, достав увольнительный билет, пошел в штаб красных.

Результат оказался прямо противоположным ожидаемому. Крепсу сказали, что справка его «липовая», а сам он — шпион, и посадили под арест. Более того, объяснили, что в этой ситуации проще всего пустить его в расход, а не разбираться с его прошлым. Тем не менее через несколько дней Евгения вместе с другими пленными отправили «для выяснения обстоятельств» в Бугульму. Начались допросы, и никто не хотел ему верить. Крепс обладал превосходной памятью и, рассказывая о перемещении своего подразделения на фронт, вспомнил названия всех деревень, через которые они проходили. Ему говорят: «Даты — штабной офицер! Какой же солдат мог это все запомнить?!» А он утверждает, что он — студент и ссылается на свой увольнительный билет... А ему в ответ — никогда Красная Армия не называлась Рабоче-Крестьянской Красной Социалистической Армией. Сколько раз ему пришлось тогда пожалеть, что он показал свое несчастное увольнительное удостоверение! Крепс попросил запросить по телеграфу Петроград. Ему отказали, но, на счастье, не расстреляли, а отправили «по команде» дальше — в штаб 5-й армии. Снова допросы, и снова ему не ве-

рят. Евгений понимал, что необходимо говорить только правду, но правда против него. Следователи считали его очень одаренным шпионом, которого нельзя ни поймать на лжи, ни испугать, и в конце концов сообщили, что у них нет времени так долго с ним возиться, поэтому придется его расстрелять. Пытаясь сохранить спокойствие, 20-летний Крепс заявил: «Чем же вы тогда отличаетесь от белой армии, где с подозреваемыми большевистскими шпионами долго не разговаривают?» Как видно, твердость, с которой перебежчик отстаивал свою правоту, возымела некоторое действие. Евгения отправили в Симбирск — в Особый отдел штаба Восточного фронта. Опять начались допросы. И вот тут в судьбу Крепса вмешался случай. На один из вопросов пришел особист, как выяснилось потом, прежний знакомый старшего брата Германа — бывший студент Лесного института. Послушав ответы Крепса, особист сказал: «А я знаю вашего брата». Евгений, знавший большинство знакомых Германа, стал перебирать в памяти всех, о ком он слышал от брата, но никогда не встречал. Это звучит совершенно невероятно, но благодаря феноменальной памяти ему удалось «вычислить», кто перед ним, и вспомнить даже название его дипломной работы. Чекист был поражен. Он под свою ответственность забрал Крепса из следственной части домой, связался с Петроградом, откуда вскоре пришло подтверждение — точная копия увольнительного билета, выданного ВМА. Оказалось, что никто уже и не помнил, что в первые месяцы своего существования Красная армия называлась Социалистической!

Евгений просился на фронт, но его оставили в эвакуационном госпитале, где он помогал аптекарю. А вскоре пришло постановление о возвращении всех студентов к месту учебы. Почти через полтора года после своего легкомысленного отъез-

да на охоту в Челябинск «пропавший без вести» Евгений Крепс вернулся в Петроград.

Об условных рефлексах, эволюционной физиологии и Баренцевом море

Крепса восстановили в Военно-медицинской академии, и он становится ревностным последователем, а впоследствии и сотрудником корифея мировой и отечественной физиологии Ивана Петровича Павлова. Все, что не касалось физиологии, для Евгения имело второстепенное значение. Но статус студента-военного медика накладывал на эти интересы свой отпечаток. На втором курсе слушателей академии мобилизовали на борьбу с сыпным тифом, в том числе — в войсках, и Евгений попросился на флот. Тогда он во время тренировочных плаваний на подводных лодках Балтийского флота впервые вышел в море. Во время Кронштадтского восстания он — в санитарном отряде, который формировали из курсантов для помощи раненым на льду Финского залива. А еще он возил на лошади хлеб в академическую столовую, разгружал дрова, ухаживал за девушками (правда, весьма нерешительно), летом ездил на Кольский полуостров в геологические экспедиции — разнорабочим, а также ловил для павловского Института экспериментальной медицины (ИЭМа) бездомных собак, страшно переживая, что обрекает некоторых из них на смерть. В ИЭМе он провел четыре года, где стал ассистентом Леона Абгаровича Орбели, любимейшего ученика и сотрудника Павлова, будущего главы физиологической научной школы СССР.

Евгений Крепс всегда любил работать руками, поэтому с удовольствием собирал необходимые приборы, участвовал в разработке и проведении экспериментов по нервно-мышечной физиологии и физиологии ор-

ганов чувств. В то же время много читал, готовя себя к исследованию условных рефлексов. В конце концов, невероятно смущаясь, попросил Павлова дать ему тему для самостоятельной работы. И великий физиолог поручил ему подготовить собаку и начать эксперименты по одному из видов внутреннего торможения. Молодой студент был счастлив! Он хорошо справился с заданием и опубликовал свою первую научную статью. Нужно сказать, что все работы в институте проходили в условиях жесточайшей нехватки самого необходимого, в том числе корма для собак. Продолжалась Гражданская война, было голодно и очень холодно, электроснабжение с перебоями. Зимой 70-летний Павлов сидел в холодной и темной лаборатории в пальто и шапке-ушанке. Приборы освещались лучинами, но эксперименты продолжались. Многие западные ученые предлагали Павлову переехать за границу, но он отказывался. Он не мог бросить своих сотрудников, и в конце концов написал письмо Ленину. С этого момента многое изменилось. Институт продолжал работать, и молодой Евгений Крепс провел в его стенах еще несколько интересных экспериментов по условным рефлексам, делал доклады на заседаниях Физиологического общества, а по вечерам часто ходил домой к Павлову — обсуждать результаты.

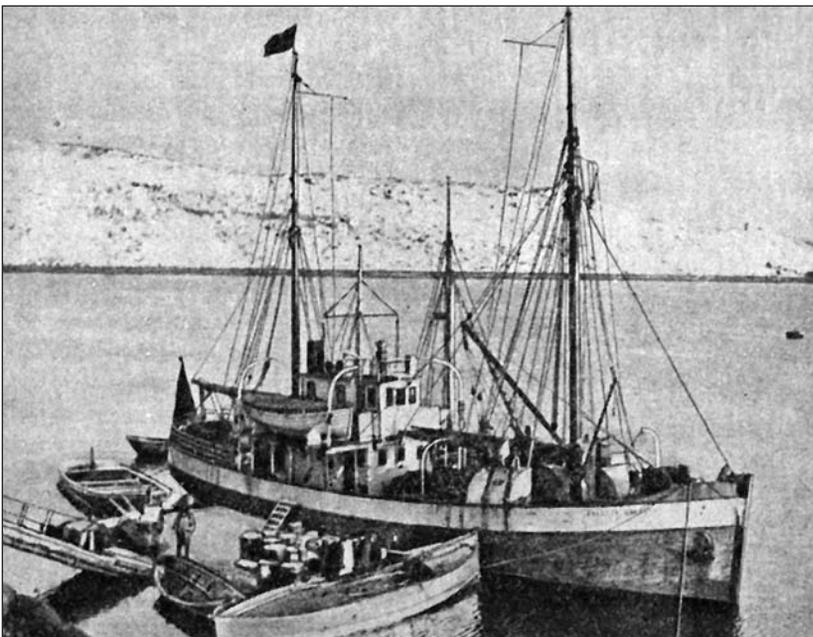
В 1921 г. Евгений при содействии брата Германа попал на Кольский полуостров, в геологическую экспедицию, в состав которой входили зоологи из Московского университета. Они и послали отличного стрелка Крепса на Мурманскую биологическую станцию добывать птиц для коллекций. Море, бухты, прозрачная вода, дно, усеянное морскими животными, огромные стаи птиц — молодой курсант сразу понял, что это именно то место, где он хотел бы жить и работать. Помогая зо-



Мурманская биологическая станция, с которой были связаны долгие годы жизни, определившие дальнейший научный путь Крепса. Поселок Полярное. 30-е годы.

ологам тралить дно и работать на веслах, Евгений еще успевал стрелять по птицам, а вечером обрабатывать их тушки. Он пришел к выводу, что Мурманская биологическая станция — идеальное место для изучения срав-

нительной физиологии нервной системы. Прежде всего Крепса интересовало то, на каком этапе эволюции животного мира возникают условные рефлексы, способность к научению. Крепс предложил директо-



Экспедиционное судно «Николай Книпович» у пристани Мурманской биологической станции, 1930 г. «На судне имелась лаборатория, и оно было неплохо по тем временам оснащено для океанологических исследований. В программу работ входили исследования гидрологические, гидрохимические, изучение планктона, бентоса, ихтиология, метеорологические, т.е. весь комплекс работ по изучению моря» (с.83).

ру станции, зоологу Г.А.Клюге, создать лабораторию сравнительной физиологии и начать эксперименты с морскими беспозвоночными животными. Директор согласен, но станция принадлежит Петроградскому обществу естествоиспытателей, и нужно разрешение его председателя — известного гидробиолога К.М.Дерюгина. Павлов поддержал предложение Крепса, и Дерюгин согласился. Но на следующий год Евгений должен был проходить врачебную практику, поэтому организацию лаборатории пришлось отложить. В качестве места практики курсант Крепс выбрал Мурманск, вернее, весь мурманский берег от поселка Поной в горле Белого моря до границы с Норвегией. Он ездил по становищам, вскрывал нарывы, делал перевязки, даже принимал роды. Когда выдавалась возможность — навещал Мурманскую биологическую станцию.

В 1923 г. (первый советский выпуск) Евгений Крепс с отличием окончил академию, где его оставили для подготовки к профессорско-преподавательской деятельности. Встал вопрос о специализации. Крепс метался: ему было интересно буквально все, но особенно — физиология высшей нервной деятельности и биохимия. Созданная им на Мурманской станции лаборатория физиологии и биохимии (Крепсу всего 24 года) работала в нескольких направлениях. Одно из них — проверка павловского учения об условных рефлексах на низших животных, другое — биохимия мышц морских беспозвоночных, третье — изучение химии морской воды и ее сравнение с внутренней средой организма. Лабораторные эксперименты с животными и химические анализы сочетаются с постоянными выходами в море. Кстати, после окончания ВМА Крепс поступил в Ленинградский государственный университет (ЛГУ), где обучался по индивидуальной программе одновременно на биологическом

и химическом факультетах. Когда он все успевал — непонятно.

Крепса, по сути, военного врача, заинтересовало функционирование пищевых цепей моря и их связи с циклами химических веществ, содержащихся в морской воде. В течение двух сезонов он со своей сотрудницей Н.А.Вержбинской ходил в море, где брал пробы морской воды и анализировал их. Умывались заборной водой, обед варили только в тихую погоду. Каждые 30 миль — работа. Только задремлешь — машинный телеграф сработает «стоп», и снова на палубу — брать пробы. Уже на берегу измеряли кислотность воды, содержание в ней кислорода, фосфатов, нитратов, аммиака, кремниевой кислоты. Определяли количество микроскопических водорослей — фитопланктона — основу всей остальной жизни в море. Кстати, полученные тогда результаты до сих пор включаются в учебники по океанологии.

В 1930 г. Крепсу предложили поехать в полугодовуюграничную командировку — первую в его жизни. Он побывал и поработал в крупнейших физиологических лабораториях и на морских биологических станциях Англии, где познакомился со многими ведущими специалистами в различных областях биологии. Тогда он и не знал, что таких поездок в его жизни будет много. Возвращался домой через Норвегию, где встречался с коллегами, а на пути в Мурманск с ним случилось несчастье. Небольшой пароход сел на камни, и при попытках снять его с них, заведя дополнительный якорь, лопнул трос и ударил Крепса по шее. Шея опухла, повязки были мокры от крови, и по приходе в Мурманск Евгений сразу попал на операционный стол. Ничего, снова выкарабкался.

На Баренцевом море, оставаясь сотрудником Военно-медицинской академии, Крепс проработал до 1931 г., когда станцию реорганизовали. Более то-

го, несмотря на большое количество проведенных исследований, на Мурман он мог вырваться только в каникулярное время — зимой и летом. Жил же он в Ленинграде.

После ухода Павлова из ВМА в 1925 г. (из-за отчисления курсантов из семей духовенства) Крепс переходит под руководство Орбели и переключается на изучение биохимии взаимодействия симпатических нервов и скелетной мускулатуры, занимается преподавательской деятельностью. Такая ситуация его не устраивает — он мечтает работать на море и заниматься эволюционной физиологией. Ему удается убедить Орбели и начальника ВМА, что его место — на Мурмане. Он демобилизуется и поступает в штат только что созданного Государственного океанографического института — ГОИНа. Одним из примеров его деятельности той поры была попытка акклиматизации в Баренцевом море камчатского краба. Несколько месяцев экспериментов показали, что для выживания икры при длительной транспортировке необходимы низкие температуры (0–3°C) и обработка антисептиками. Главное, ее можно было хранить без воды, во влажной атмосфере! В декабре 1932 г. Крепс привозит в Москву, а потом в Мурманск 100 тыс. икринок. Три недели без воды, а икра живая. Еще пару месяцев она провела в аквариумах с проточной водой, а в январе 1933 г. из икринок начали выходить первые личинки. Эксперимент удался, хотя настоящую интродукцию камчатского краба осуществили лишь через 30 лет.

Экспедиция подводных работ особого назначения

Зимним вечером 1929 г. домой к Крепсу пришел незнакомый человек в форме военноморского врача и отрекомендовался Константином Андреевичем Павловским, главным вра-



Е.М.Крепс на биологической станции в Плимуте, где, как он писал, «жизнь была приятной и очень полезной» (с.106).

чом Экспедиции подводных работ особого назначения (ЭПРОН). И вот что он рассказал. В Крымскую войну 1853–1856 гг. во время сильнейшего шторма у входа в Балаклавскую бухту затонула английская эскадра, в том числе фрегат «Принц», который якобы вез золото — жалованье для английского экспедиционного корпуса. В 1928 г. японцы предложили советскому правительству провести совместные поиски этого фрегата, а найденное золото — поделить пополам. Японцы тогда считались первоклассными водолазами, а ЭПРОН был очень молодой, плохо оснащенной организацией, и договор заключили. Когда начались работы, Павловского прикомандировали к экспедиции. Японские водолазы проработали около года на крутом склоне у входа в бухту, на кладбище истлевших останков английской эскадры, но нашли лишь бронзовую рынду с надписью «Принц» и одну золотую монету.

Павловского чрезвычайно интересовала водолазная техника японцев, применявших легкое водолазное снаряжение:

маску, закрывающую только глаза и нос, и тонкий резиновый шланг, по которому подавался воздух. Подачу воздуха регулировал сам водолаз, нажимая зубами на рычаг. При этом подъем водолазов (без всяких остановок) был значительно короче принятого на всех флотах мира и проводившегося по таблицам Холдена. Кроме того, при работе под водой японцы тщательно следили за ритмом дыхания, который был очень редким — пять-шесть дыханий в минуту. При повышении частоты дыхания водолаза сразу поднимали наверх.

Павловский предложил Крепсу начать разработку научно обоснованного режима работ в японской маске (одна у него была), а также других вопросов, связанных с физиологией погружений. Ему рекомендовали Крепса как специалиста-физиолога и человека, который любит море. Никаких физиологических исследований ЭПРОНа до этого не проводил. Естественно, Крепс согласился, и Орбели поддержал это начинание. В ВМА установили декомпрессионную камеру, собрали необхо-

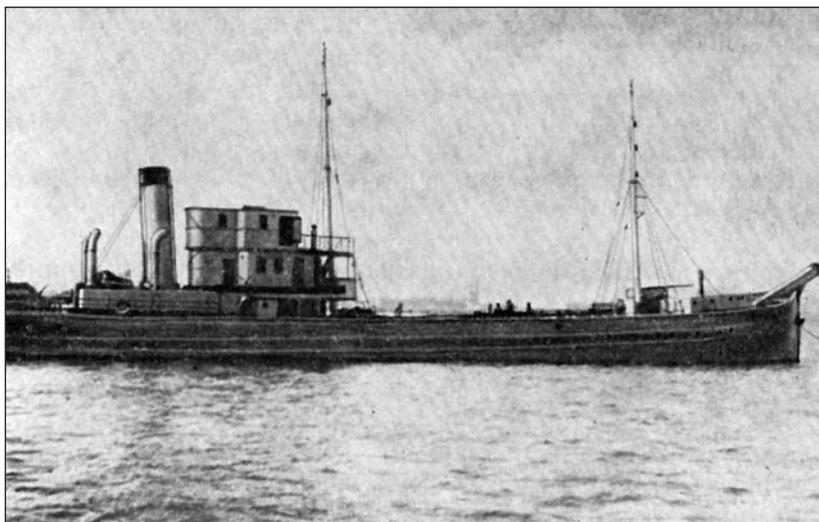
димое оборудование для изучения насыщения крови азотом. Летом 1930 г. работу перенесли в Новороссийск, на плавучую базу водолазной школы ЭПРОНа, руководимую Ф.А.Шпаковицем. Первый этап успешно завершился. Крепс предположил, что замедление тока крови через легкие и уменьшение количества азота, попадающего в кровь, происходит из-за редкого дыхания водолазов. Погружения подтвердили это предположение.

Исследования продолжались и на кафедре физиологии ВМА. Новизна предмета, практическая ценность исследований и, конечно, романтика погружений привлекли к себе много молодых работников кафедры, а также прикомандированных к ней врачей. Общее руководство исследованиями взял на себя Орбели, его заместителем стал Крепс, вместе с ним работал молодой адъюнкт кафедры С.И.Прикладовицкий. Основная задача состояла в том, чтобы научиться спускаться глубже, оставаться на глубине дольше и поднимать водолазов быстрее, естественно, при полной гарантии

сохранения их умственной и физической работоспособности и здоровья. Экспериментальные исследования касались использования для дыхания водолазов чистого кислорода для ускорения их подъема, токсического действия сжатого кислорода, наркотического действия азота на глубине, а также режимов декомпрессии.

Сначала в Новороссийске, а потом и в Ленинграде начались разработки легководолазного снаряжения для подводных работ и индивидуального выхода из затонувших подводных лодок. Опробовали и оценили достоинства и недостатки моделей Дэвиса, Дрегерера и Беллони, после чего сконструировали первый отечественный индивидуальный спасательный аппарат (ИСА). Все испытания Крепс с Прикладовицким проводили на себе, в основном в бассейне Военно-морского училища им.М.Фрунзе. В 1946 г. в этом аппарате после его многочисленных усовершенствований был установлен мировой рекорд глубины погружения. Кстати, когда выяснилось, что на глубине 70—80 м основная помеха для работы водолазов — азотный наркоз, нарушающий нормальную координацию движений и вызывающий расстройство психики (вплоть до потери сознания), встал вопрос о замене азота другим, инертным, газом. Наиболее подходящим представлялся гелий. Начались экспериментальные спуски на гелиокислородных смесях.

В 1935 г. под председательством Орбели (тогда уже академика) организовали особую комиссию по разработке физиологических основ глубоководных спусков, которая объединила усилия ВМА, ЭПРОНа и Краснознаменного учебного отряда подводного плавания (КУОПП). Технику выхода в индивидуальном спасательном аппарате из лежащей на грунте субмарины отрабатывали на подводных лодках Черноморского флота. Лодки были различных типов,



Спасательное судно «Алтай», 1946 г. «На нем можно разместить большую декомпрессионную камеру с компрессором, и все наше глубоководное водолазное хозяйство. Испытания шли успешно. Спуски проводились на гелиокислороде в легководолазном снаряжении, согласно режимам, разработанным нами зимой в баролаборатории. Это были по тем временам рекордные по глубине спуски в море» (с.121).

и техника выхода тоже была иной. Как правило, начальником работ был Крепс.

Забегаю вперед, нужно сказать, что после войны и возвращения ВМА из эвакуации работа комиссии возобновилась. Была поставлена задача довести глубину погружений на гелиокислороде в барокамере до 200 м в условиях физической нагрузки при низкой температуре. Летом 1946 г. недалеко от Сухуми начались глубоководные испытания. Они прошли успешно. В легководолазном снаряжении на гелиокислороде достигли глубины в 200 м с экспозицией на грунте в 15 мин. По тем временам это было рекордом. А в 1949 г. водолазы Крепса впервые в истории Военно-морского флота обследовали торговое судно «Седов» на глубине 120–150 м, подорвавшееся на mine.

Работа, репрессии, война, реабилитация

В 1932 г. Крепс оформляется на работу в Мурманске. Но эйфория по поводу переезда на Баренцево море продолжалась недолго. Через год, после визита на Мурманскую станцию Сталина и Ворошилова, ГОИН закрыли. Крепс остался ни с чем (к тому же тогда он разводился со своей первой женой). Более того, его вместе с несколькими другими бывшими сотрудниками ГОИНа арестовали. Правда, через месяц выпустили. Жизнь дала трещину? Только не для Крепса. Установивший во время обучения в ЛГУ тесные контакты с физиологами, он, вернувшись в Ленинград, по предложению профессора А.А.Ухтомского начал читать студентам университета курс сравнительной физиологии, и Орбели предложил Крепсу организовать лабораторию сравнительной физиологии в составе отдела эволюционной физиологии. Крепс собрал своих старых коллег по Мурманской станции и присту-

пил к изучению сравнительной биохимии мышц и буферных свойств крови.

В 1935 г. Крепс — один из организаторов XV Международного физиологического конгресса, на который собрались светила науки со всего мира. На волне энтузиазма, вызванного созданием ВИЭМа и успешно проведенного конгресса, Крепсу удалось доказать необходимость морской биологической станции на Баренцевом море. Ему поручили подыскать место и выделили деньги. Такое место нашлось в губе Дальние Зеленцы. При участии Крепса разработали проект станции, а в 1937 г. завезли строительные материалы, и началось строительство. За научные достижения Крепс получил степень доктора биологических наук и стал заместителем Орбели. Конфликты на таком посту неизбежны, и кто-то свел с ним счеты. В апреле 1937 г. Крепса по доносу арестовали, а его детище — морская биостанция — перешла в ведение Зоологического института Академии наук СССР.

Крепсу дали пять лет лагерей и отправили на Колыму. Но прежде чем попасть туда, он провел больше двух лет во Владивостоке и в пересыльном лагере «2-я речка». В декабре 1939 г. его вместе с несколькими тысячами заключенных погрузили на пароход «Дальстрой». Зэков разместили в четырех огромных трюмах с кое-как сколоченными нарами. Им запрещалось выходить на палубу, и эки-врачи, которых поместили на верхней палубе, спускались вниз, если кому-нибудь требовалась помощь. Крепс был вместе с врачами. Когда «Дальстрой» вышел в Охотское море, разыгрался шторм. Заключенных в трюмах и врачей на палубе быстро укачало, и все лежали пластом. На ногах оставался один Крепс, хорошо знакомый с морем. Ночью, не выдержав качки, в одном из трюмов обрушились нары. С помощью не-

скольких оставшихся стоять на ногах заключенных Крепс в темноте разбирал завалы из тел и досок, вытаскивал покалеченных, делал перевязки и уколы. Все это происходило при сильной качке, а поскольку другие врачи просто не в состоянии были ему помогать, Евгений Михайлович бегал вверх-вниз по захлестываемой волнами палубе, держась за леер, добирался до медпункта, брал очередную партию медикаментов и снова нырял в стонущий трюм. Потом обрушились нары в другом трюме, и повторилась та же история. Трупы складывали отдельно. На следующий день плотники сколотили деревянный желоб, по которому их спускали в воду, привязав к ногам железную болванку. Об опознании часто не могло быть и речи. В эту же штормовую ночь, приблизительно в этом же месте пошел ко дну возвращавшийся с Колымы пароход «Индиگیرка» с окончившими службу солдатами и отбывшими срок заключенными. Не спасся никто...

Крепс проработал несколько месяцев на прииске Тоскан, что в 400 км от Магадана. Затем его перевели в Магадан для работы в госпитале, но вскоре он свалился с крупозным воспалением легких. В это время в Москве академик Орбели, уверенный в полной невиновности своего ученика и заместителя, добился пересмотра его дела — случай почти небывалый. Весной 1940 г. Крепса, лежащего в госпитале без сознания, освободили «за отсутствием состава преступления». Природное здоровье и оптимизм в очередной раз выручили Крепса: он выздоровел. Но до навигации еще далеко, и ему предложили возглавить лабораторию при городской поликлинике. Он делал анализы крови и мочи, зондирование желудка и так далее, причем, как всегда, работал настолько хорошо, что ему с трудом удалось получить пропуск для отъезда. Начальник здравоохранения Дальстроя обещал ему зо-

лотые горы, но никак не хотел отпускать.

Вернувшись назад, оправданный, но без права работать в Москве, Ленинграде и Киеве, Крепс, как был, в лагерном обмундировании, отправился на Лубянку и попросил, чтобы его принял кто-нибудь из начальства. Полковник НКВД молча выслушал бывшего зэка и попросил написать заявление на имя наркома Госбезопасности. А в 1943 г., когда Крепс был со своим институтом в эвакуации в Казани, ему выдали новый паспорт. Более того, посоветовали: «в анкетах на вопрос — подвергался ли репрессиям, пишите — не подвергался». О возвращении в Москву, тем не менее, речь не шла. Крепс уехал в Ленинград, устроился работать в городскую поликлинику Луги и занимался литературной работой — писал обзорные статьи по оставшимся неопубликованным результатам своих исследований, в том числе статью «Особенности физиологии ныряющих животных», которая была первым трудом в этой области на русском языке.

Начало войны Крепс встретил, работая на Карадагской биологической станции. Местный сельсовет формировал партизанский отряд, в который записались и Крепс с женой (второй раз Евгений Михайлович женился в 1935 г.). С охотничьим ружьем и мелкокалиберной винтовкой они по ночам патрулировали укрепленный за ними участок побережья. Немцы наступали, пришлось эвакуироваться. Дорога на Ленинград была отрезана, и их состав повернули в Горький. Оттуда добирались до Казани, куда выехал ВИЭМ. Все хотели помогать фронту. Как это могли сделать биохимики? Крепс со своей группой занялся изучением ферментов крови в надежде найти такой, который указал бы на развивающееся после тяжелых ранений заражение крови (сепсис) до выраженных клинических проявлений. Антибиотиков тогда не

было, и распознать развивающееся воспаление, ведущее к сепсису, для многих раненых было вопросом жизни или смерти. «Сигнальным» ферментом оказалась карбоангидраза крови. Группа Крепса разработала простой аналитический метод и связалась с госпиталями, которые приняли метод на вооружение и в результате спасли жизни множеству людей. Другим примером деятельности группы Крепса стала победа над цингой в ряде госпиталей. Проверив процесс приготовления пищи, биохимики выяснили, каким образом его надо изменить, чтобы не терять витамины в овощах.

Дополнительно Крепс продолжал заниматься подводной физиологией. Зная, насколько опасным может оказаться кислородное голодание при глубоководных спусках (сам он однажды испытал его на собственном опыте, погружаясь в легководолазном снаряжении) — эффект наступает без предвестников и быстро приводит к фатальному исходу, биохимик решает разработать прибор, позволяющий контролировать насыщение крови кислородом на протяжении всего спуска. Этот прибор, названный оксигемометром, был вскоре разработан при помощи эвакуированных оптиков. Кстати, впоследствии он нашел широкое применение не только в водолазном деле, но также в авиации, спорте, альпинизме и, главное, в медицине.

О сессии ВАСХНИЛ, физиологии мозга и экспедициях на «Витязе»

Война, наконец, окончена. В 1946 г. Евгения Михайловича избирают в члены-корреспонденты Академии наук СССР. В это же время президентом Академии становится С.И.Вавилов, младший брат погибшего во время войны в тюрьме выдающегося биолога Н.И.Вавилова. Казалось бы, впереди только

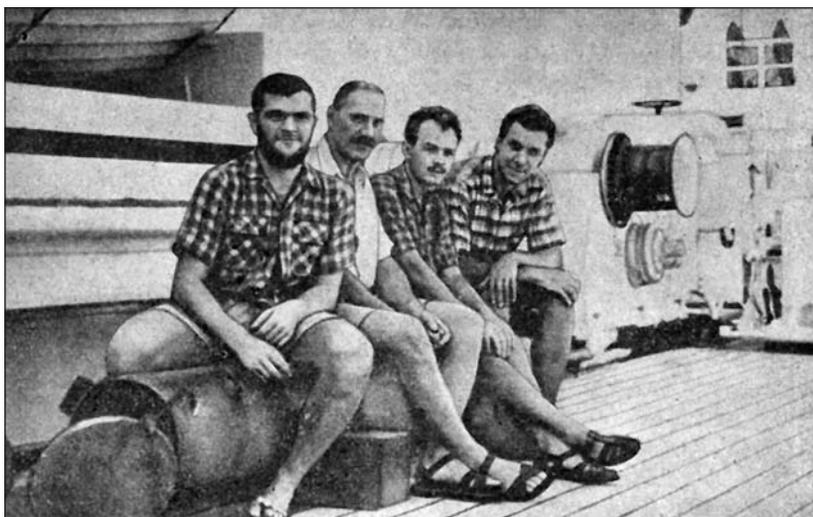
светлое и радостное. Но не тут-то было. После печально известной сессии ВАСХНИЛ 1948 г. начались гонения на ученых-генетиков, а заодно и на всех, кто их поддерживал и не считал генетику лженаукой. В 1950 г. прошла аналогичная сессия Академии наук и Академии медицинских наук. В результате многих известных биологов, включая академика Орбели — одного из любимых учеников Павлова, объявили противниками павловского учения, лишили постов, уволили или понизили в должностях. Крепса гонения не затронули, и теперь уже он, как когда-то Орбели, старается помочь реабилитации своего учителя. Смерть Сталина ускорила этот процесс. В 1955 г. справедливость была восстановлена, и Орбели начал создавать новый физиологический институт в Ленинграде.

Крепс остался в Москве. Его лаборатория занималась обменными процессами коры больших полушарий. Полученные результаты очень интересны, и Крепс несколько раз выезжал на научные конференции за рубеж, где выступал с докладами. Бельгия, Аргентина, Франция, Чехословакия, Англия, Швейцария — Крепс один из самых «выездных» советских ученых. Казалось бы, давно в прошлом осталась его работа на море, и он превратился в «лабораторную крысу». Ан, нет! В 1957 г. старинный друг Крепса гидробиолог В.Г.Богров неожиданно предложил ему пойти в экспедицию в центральную Пацифику на научно-исследовательском судне «Витязь» — им был очень нужен биохимик и физиолог. На очереди стояла проблема изучения организмов, обитающих на огромных глубинах, в условиях полной темноты, низких температур и колоссальных давлений. До рейса оставалось всего 10 дней. Какой переполох поднялся в душе у Евгения Михайловича! Ему уже 58. Он — заведующий лабораторией в одном из крупнейших исследовательских

центров страны. Но энергии и тогда у него было на десяти-рых. Господи! Он увидит коралловый атолл! Сейчас или никогда! И он уладил все формальности и оформил все необходимые бумаги за неделю! Это — в советские-то времена!

«Витязь» выполнил обширную программу исследований, посетил Полинезию, Меланезию, Фиджи, Новую Каледонию, Новую Зеландию. О таком путешествии можно только мечтать. Крепса назначили начальником радиометрического отряда, ответственного за исследования искусственной и естественной радиоактивности воды и морских организмов. Тогда активно обсуждался вопрос о возможности использования глубоководных впадин в качестве места захоронения радиоактивных отходов, поскольку предполагалось, что в таких впадинах отсутствует перемешивание воды. Как нелегко опускать приборы на такие глубины! Учитывая ветер и течения, приходится вытравливать по 13—14 км (!) троса. Спустить и поднять трал или грунтозаборник — на это уходит 10—12 ч. Исследования на «Витязе», проведенные в том рейсе во впадине Тонга (максимальная глубина 10 882 м), показали, что она хорошо промывается и вдоль (глубинными течениями), и вертикально (за счет вертикальной циркуляции вод). Об этом однозначно свидетельствовали полученные данные по гидрологии, химии, геохимии и биологии. Идея о захоронении отходов во впадинах должна быть отвергнута. Эту точку зрения Крепс высказал в докладе на Международной конференции по мирному использованию ядерной энергии в Женеве. Данные были настолько убедительными, что с ними не могли не согласиться и остальные ученые.

По результатам рейса Евгений Михайлович пишет книгу «На «Витязе» к островам Тихого океана», а на следующий год на нем же уходит в экспедицию в Индийский океан. Ему поруче-



На палубе «Витязя» в минуты отдыха. Второй слева — Е.М.Крепс. 1959 г.

но исследовать судьбу радиоактивного стронция-90, появившегося в атмосфере и океане после ядерных испытаний. Ява, остров Рождества, Западная Австралия, Шри-Ланка, Коморские острова, остров Занзибар, Мальдивы и Сейшелы. Эти названия — как звуки волшебной флейты! Но окончания экспедиции Крепсу увидеть не удалось. Во время стоянки в Индии его срочно вызвали в Москву, чтобы он возглавил созданный Орбели (к тому времени уже умершим) Институт

эволюционной физиологии. Евгений Михайлович снова возвращается в Ленинград.

Институт раздирали склоки, и Крепсу пришлось несколько лет наводить в нем порядок. Выбивал ставки и деньги на оборудование, «перетаскивал» к себе старых сослуживцев и учеников, занимался строительством и вдвое расширил площади института, создал несколько новых лабораторий и добился создания нового журнала. В 1966 г. Евгения Михайловича избрали



С академиком В.А.Палладиным во время Международной нейрхимической конференции. Милан. 1969 г.



На встрече с президентом АН СССР М.В.Келдышем в Институте эволюционной физиологии и биохимии. 1974 г.

в академики, а в 1969 г. ему присвоили звание Героя Социалистического Труда.

Сам Крепс возглавил Лабораторию биохимии нервной системы, где начались исследования липидов (жиров) — одних из основных структурных и функциональных составляющих всех клеток, в том числе нервных. Для их изучения требовались самые разнообразные животные. Крепс участвовал сам и посылал своих сотрудников в морские и сухопутные экспедиции. Тихий, Индийский, Атлантический и Южный океаны,

Черное, Средиземное и Каспийское моря, озеро Байкал, Карелия, Дальний Восток, Средняя Азия — далеко не полная их география. Эта работа заняла почти 20 лет, и в начале 80-х академик Крепс подытожил ее результаты в книге «Липиды клеточных мембран».

То, что успел сделать и повидать за свою жизнь Евгений Крепс, в голове не укладывается. Его избрали академиком-секретарем Отделения физиологии Академии наук СССР, он руководил институтом, продолжал ездить на международные конфе-

ренции и ходить в рейсы. Он участвовал в последнем рейсе «Витязя» перед его списанием. Крепсу тогда шел 80-й (!) год. Но здоровье не подкачало: медкомиссия была вынуждена дать согласие. И вы думаете, он плыл в качестве пассажира? Как бы не так! Ему еще нужно было собрать материал для биохимических исследований мозга рыб! Кроме того, все рейсы «Витязя», включая последний, он описал в книгах.

Хорошо знавший Евгения Михайловича член-корреспондент АН СССР С.Р.Микулинский писал: «Ему было под восемьдесят, если не все восемьдесят, а все были какие-то дела, неотложные встречи, заседания, в которых, он считал, ему *обязательно* нужно принять участие потому, что вопросы, которые решались на них, были не просто важны, а *важны для него*... Так он их воспринимал, касалось ли это глубоководных спусков, биохимии мозга или процессов обмена и цепей питания обитателей моря... Иначе он не мог».

Любивший и не устававший удивляться, академик Крепс умер в 85 лет. Сделанного им хватит на несколько незаурядных жизней. Может быть, устало его тело, но душа не знала усталости. Сам же он закончил книгу своих воспоминаний такими словами: «Я прожил интересную жизнь... Сколько еще проживу — не знаю, но судьбу благодарю за то, что она мне дала». ■

Каменные кружева Горного Крыма

В.Н.Комаров,

кандидат геолого-минералогических наук

Российский государственный геолого-разведочный университет им.С.Орджоникидзе
Москва

Горный Крым с его удивительным прошлым по праву считается богатейшим комплексным природным заповедником. Особое место в нем занимают уникальные геологические объекты — свидетели событий, происшедших десятки миллионов лет назад. Многие из них имеют не только значительную научную, но и культурно-эстетическую ценность, помогая полнее ощутить величие и красоту природы.

К геологическим памятникам традиционно относят обнажения горных пород и формы земной поверхности, наиболее выразительно иллюстрирующие строение конкретных участков земной коры и следы протекавших на них природных процессов.

Исключительно благоприятен Горный Крым для знакомства с современными геологическими процессами, в том числе связанными с воздействием на горные породы разнообразных агентов атмосферы. Проявляются данные процессы весьма энергично, что обусловлено, во-первых, климатическими особенностями региона, а во-вторых, большой степенью обнаженности горных пород. Один из интереснейших результатов современных процессов — созданные при совместном действии выветривания и ветра оригинальные сотовые, или, как их еще называют, ячеистые, формы выветривания и выдувания.

Под выветриванием понимается изменение и разрушение горных пород и минералов в приповерхностных частях земной коры под влиянием солнечной энергии, содержащейся в атмосфере воды и вследствие воздействия животного и растительного мира. В зависимости от преобладания того или иного фактора выделяют три основных типа выветривания: физическое, химическое и биологическое*. Возникновение сотовых форм связано с первыми двумя.

Физическое выветривание возникает при сильном нагревании горных пород солнцем и последующим их охлаждении ночью. Колебания температуры приводят к непрерывно чередующемуся расширению и сжатию минералов, к образованию мелких трещин и постепенному разрыхлению каменного материала. Скорость этого процесса значительно выше на крутых склонах, где продукты выветривания удаляются быстрее, чем на пологих или выровненных участках, где они накапливаются и предохраняют породы от дальнейшего разрушения.

Агенты химического выветривания — содержащиеся в атмосфере кислород, углекислый газ, вода и другие соединения, которые могут активно проникать внутрь по трещинам и порам. При этом различные компоненты породы (в первую

очередь карбонат кальция, часто в виде цемента) растворяются и выносятся с водой. Процессы химического выветривания протекают более эффективно в пористых породах и в предварительно затронутых процессами физического выветривания разрушенных рыхлых образованиях.

Физическое и химическое выветривание в совокупности приводят к тому, что в обнажениях на участках, сложенных более прочными сильно известковистыми разностями, возникают четкие карнизы, а на участках с менее прочными породами формируются небольшие углубления — ниши.

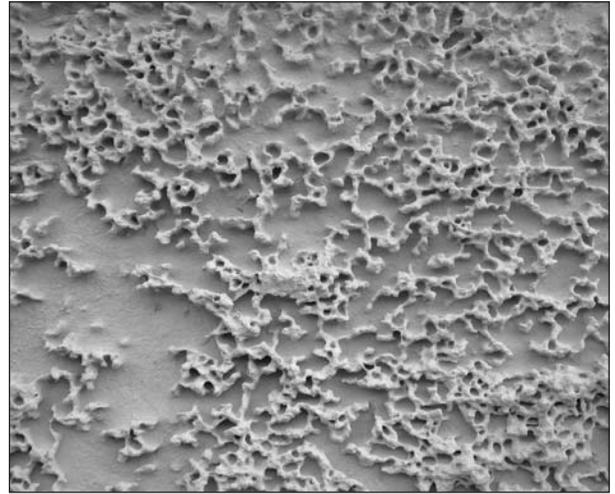
В результате геологической работы ветра, главной ареной деятельности которого, безусловно, можно считать отвесные горные склоны, удаляются продукты, ранее подготовленные процессами выветривания. Подхватывая разрыхленный материал, ветер выдувает его из ниш и обнажает в их глубине неразрушенные коренные породы, делая их доступными для последующего выветривания. Кроме того, сильный ветер может вращать в углублениях скал песчинки и даже мелкие камешки, которые, действуя, словно миниатюрные жернова, постепенно увеличивают размеры этих каверн.

Мне посчастливилось неоднократно наблюдать сотовые формы выветривания и выдувания в пределах второй гряды Крымских гор в восточной части Бахчисарайского р-на (при-

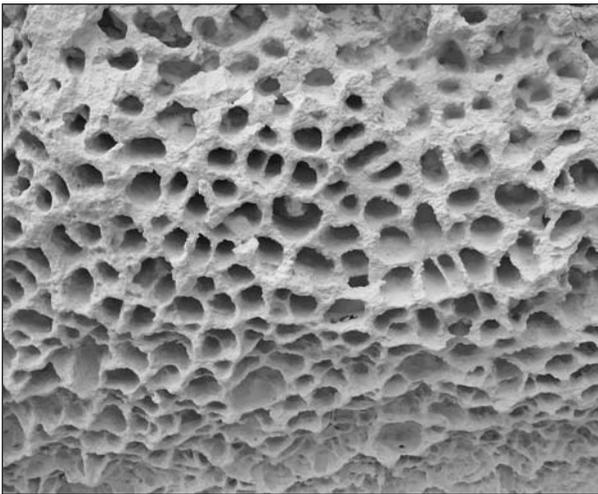
* См. напр.: Славин В.И. Современные геологические процессы в Крыму. М., 1985.



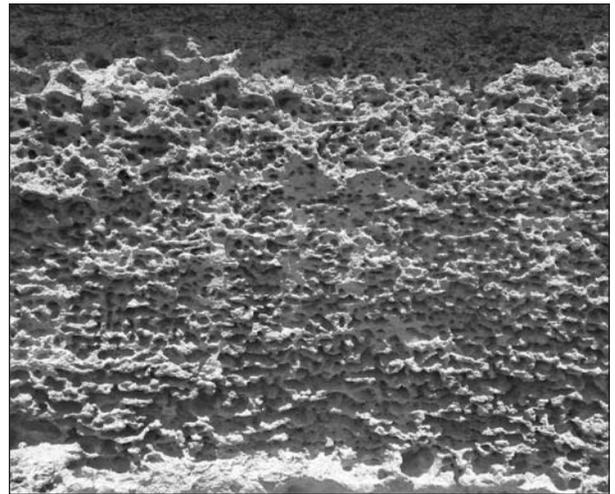
Формы выветривания на склонах, сложенных песчаниками маастрихта и датского яруса.



Прекрасно отпрепарированные соты выветривания в песчаниках маастрихта.



Необычно глубокие соты выветривания в песчаниках маастрихта.



Мелкие соты выветривания в песчаниках датского яруса.

Фото автора

веденные в статье фотографии сделаны на южном склоне горы Беш-Кош). Здесь широко распространены вертикальные и субвертикальные скальные выходы высотой в несколько десятков метров, сложенные породами маастрихтского и датского ярусов. Маастрихт представлен главным образом песчаниками зеленовато-серого цвета, мелкозернистыми и неравномерно известковистыми. Датский ярус в нижней части образован зеленовато-серыми, рыхлыми, также неравномерно известковистыми песчаниками, выше которых

развита толща белых органогенных известняков.

Удачное сочетание всех необходимых факторов, в первую очередь наличие отчетливо однородных по известковистости пород, привело к образованию прекрасно отпрепарированных, редких по выразительности форм. В простейших случаях поверхность испещрена отдельными, беспорядочно расположенными, ямками поперечником от нескольких миллиметров до 30–35 см. Зачастую они группируются самым причудливым образом, формируя узоры, напо-

минающие загадочные лабиринты, древние письмены, цветы, пчелиные соты и др. Все эти фигуры удивляют своей элегантностью и легкостью. Местами порода превращается в неповторимое хрупкое каменное кружево.

При долгом рассмотрении сотовых форм размышления об их происхождении невольно уходят на второй план. Начинаешь ощущать себя посетителем сказочного музея, в котором отчетливо понимаешь, насколько совершенны и изысканно утонченны могут быть творения Природы. ■

Раны Старой Рязани

А.В.Чернецов

*Как одиноко сидит город, некогда многолюдный!
Он стал, как вдова.*

Плач Иеремии, 1,1

В 50 км к юго-востоку от современной Рязани находится городище Старая Рязань — уникальный памятник археологии, единственный стольный город домонгольской Руси, ставший классическим мертвым городом [1—3].

Цветущая столица крупного княжества, территория которого в несколько раз превосходила нынешнюю Рязанскую область, не смогла оправиться после катастрофических событий зимы 1237 г. Старая Рязань оказалась первым крупным древнерусским городом, осажденным монголами. Собственно говоря, она даже не являлась стратегической целью захватчиков — те располагали добротной разведывательной информацией и знали, что наиболее серьезными противниками из числа русских князей, которых нужно разгромить в первую очередь, были не правители Киева и Чернигова, а владими́ро-суздальские князья. Путь из степей на Владимирщину шел через Рязанское княжество, и оно стало первой жертвой завоевателей.

Из всех крупных княжеств и городских центров, разгромленных войсками Батые, самые подробные и самые поэтические предания связаны именно со Старой Рязанью. Завоеватели потребовали десятую долю всего, в том числе представителей княжеского рода, простолудин, а также скота, в частности коней — белых, вороных, бурых, рыжих и пегих. Достоинно прозвучал ответ рязанских князей:



Алексей Владимирович Чернецов, доктор исторических наук, профессор, заведующий отделом славяно-русской археологии Института археологии РАН. Научные интересы сосредоточены в области археологии средневекового русского города, истории культуры Древней Руси.

«Коли нас не будет всех, все то ваше будет». Князья направили послов к Юрию Всеволодовичу владимирскому с просьбой о помощи, но тот отказал («хотел сам особь брань сотворити»).

В позднейших сказаниях о взятии Старой Рязани [4] читаем, как мученически погиб в ставке Батые рязанский князь Федор Юрьевич и как его жена Евпраксия, узнав об этом, покончила с собой, бросившись с малолетним сыном Иваном с высокого терема, и погибла («заразися»), отчего место события получило название «Зарзск» (современный Зарайск).

По-видимому, значительная часть рязанского воинства погибла при первой встрече с монголами на южных границах княжества. Вскоре последовала пятидневная осада столицы княжества, окончившаяся ее полным разорением. «Многие князи местные и воеводы крепкия, и воинства удалцы и резвцы, узорочье [украшение] и воспитание рязанское, вси равно

умроша и едину чашу смертную испиша». «А во граде многих людей и жены и дети мечи исекоша, и иных в реце истопиша... и весь град пожгоша... и храмы Божии разориша... И не оста во граде ни един живых, вси равно умроша... несть бо ту ни стонуща, ни плачуща». «Погибе град и земля Рязанская, изменися доброта ея, и не бе в ней благо видеть, токмо дым, земля и пепел, а церкви вси погореша, а сама соборная церковь внутри погоре и почерне». «Кто не восплачется толикие погибели, или кто не возрыдает о селице [стольких] народе людей, или кто не пожалит множество государей, и храбрых воевод, и нарочитых людей, напрасно [внезапно] нужную смертью скончавшаяся, или кто не постонет сицевого пленения».

Есть там и рассказ об остатке рязанского воинства, которое не смогло принять участие в основных боевых действиях и атаковало воинство Батые уже во владимирских пределах под

предводительством воеводы Евпатия Коловрата. Перепуганные захватчики приняли их за воскресших мертвецов и смогли одолеть Евпатия только с помощью стенобитных орудий. Сам Батый не мог не отдать должного богатырю и сказал: «Аще бы у меня такой служил, держал бых его против сердца своего».

Еще одна поэтическая легенда рассказывает о простой женщине, Авдотье Рязаночке, которая вернулась в опустевший город и отправилась в дальний путь просить захватчиков вернуть пленников. Правильность просьбы Авдотьи оказалась спасительной для рязанцев: она просила не за мужа — поскольку еще молода и может вступить в брак вторично, не за детей — потому что могла еще рожать, а за брата — в соответствии с древними эпическими традициями, идущими от эпохи родовой строя.

Монголо-татарское нашествие было крупнейшей национальной трагедией средневековой Руси. И нет на Руси более кровотошащего, более памятного места, чем Старая Рязань. Легендарный Китеж на дне реального озера Светлояр, возможно, кому-то покажется более значимым пунктом. Но историки знают, что Китеж — не более чем фантом исторической памяти, а народная память о Старой Рязани — память подлинная. Вероятно, каждый русский знает, что трагедия Батыева нашествия началась со взятия Рязани, но мало кто знает, что речь идет не о современной Рязани (средневековом Переяславле Рязанском), а о Старой Рязани... Впрочем, в окрестностях Старой Рязани об этом помнят и никогда не забывали.

Историческая память местного населения — источник ненадежный. Рассказы о том, что расположенное за валами городища село Шатрицы названо так в память о находившихся здесь шатрах Батыева воинства, по-видимому, справедливы. А вот история о том, что части жителей Старой Рязани удалось

каким-то чудом спастись и они в память о своем спасении назвали Спасском новый городок на другом берегу Оки, — типичная догадка, основанная на неправильно истолкованном созвучии. Спасск Рязанский, как и множество других русских Спассков и Спасов, назван в честь церкви Спаса. Еще одно предание, оказавшееся, к сожалению, не вполне безвредным, гласит, что главные сокровища Старой Рязани зарыты в валах. Между тем археологам случаи сокрытия кладов в насыпях оборонительных сооружений практически неизвестны, разве что как редчайшие исключения. Наконец, до сегодняшнего дня порой приходится слышать вопрос, правда ли, что экспедиция ищет золотого коня.

П.Я.Чаадаев, как известно, осуждал русских за то, что у них не сохранилось «пленительных воспоминаний», как у народов Западной Европы. Между тем даже такая окраина средневековой Руси, такой медвежий угол среди других древнерусских княжеств, как Муромо-Рязанская земля, поражает именно обилием воспоминаний. Это не только предания о Батыевом нашествии, но и сказания о Добрыне Никитиче, которому приписывается рязанское происхождение и с которым связаны урочища, расположенные на рязанской земле. Вспомним еще Илью Муромца, Петра и Февронию муромских (причем вещая дева Феврония — уроженка Рязанской земли).

Огороженная монументальными валами (остатками древних укреплений, которые некогда венчались стенами и башнями), Старая Рязань занимает площадь более 67 га. Много это или мало? Для средневековой Руси довольно много. Чуть меньше, чем площадь Киева, Чернигова и Владимира — крупнейших городов того времени; раза в полтора больше, чем Московский Кремль.

Но главное другое: территория Старой Рязани, одного из

крупнейших городов Древней Руси, почти полностью свободна для раскопок — там нет современной городской застройки. Вот почему именно здесь еще в 1822 г. были проведены первые археологические изыскания средневекового русского города.

Не так-то много можно увидеть, впервые приехав на Старо-рязанское городище. От былого величия остались лишь протянувшиеся более чем на два километра грандиозные валы и рвы да заросшие густой травой фундаменты одного из древних соборов. Но само расположение памятника на высокой террасе, эффектный вид на Оку с живописными лугами и старичными озерами на другой стороне реки производят неизгладимое впечатление. «Какие пленительные и, можно сказать, единственные виды представляет Старая Рязань со своими окрестностями... Эти места достойны, чтобы на них стоял столичный город», — писал проезжавший здесь в 1829 г. молодой В.Белинский. И сейчас можно встретить людей, которые, однажды приехав на Старую Рязань, влюбились в это замечательное место и год за годом вновь тянутся сюда.

Старая Рязань находится в двух с половиной сотнях километров от Москвы, и можно подумать, что это — типичная Средняя Россия. Однако не совсем это так: Старая Рязань расположена посреди беслесных просторов (леса начинаются километрах в тридцати к северу); летом здесь градусов на пять теплее, чем в Москве, а дождливых дней меньше раза в три. Таким образом, перед нами иная ландшафтная и климатическая зона. Другая зона здесь и в историко-культурном и этнографическом плане.

Какова же сегодняшняя ситуация вокруг главного свидетеля национальной трагедии, памятника, для русских не менее значимого, чем Косово поле для сербов или Стена Плача для израильтян?

Кроме национального — во многом, может быть, эмоционального — отношения к Старой Рязани, она заслуживает внимания в академическом плане как образцовый, эталонный пример древнерусского столичного города. Обусловлено это и тем, что основная часть памятника полностью свободна для исследователей, и тем, что данный памятник существовал как процветающий столичный город менее столетия — с середины XII в. по 1237 г. Таким образом, «чистая» картина столичного города домонгольской Руси ни в каком другом месте не может быть прочтена с такой ясностью.

К сожалению, ситуация вокруг Старой Рязани на сегодняшний день, пожалуй, не менее драматична, чем та, о которой рассказывается в «Повести о нашествии Батюга на Рязань» или в «Плаче Иеремии».

На первый взгляд может показаться, что со Старорязанским городищем все в порядке. Действительно, оно имеет статус заповедника и находится в ведении Рязанского историко-архитектурного музея-заповедника. В соответствии с постановлением Совета Министров РСФСР №1327 от 30 августа 1960 г. городище поставлено под охрану как памятник истории и культуры федерального значения. В 1995 г. Рязанский музей и заповедник ему городище включены в Государственный свод особо ценных объектов культурного наследия народов Российской Федерации. В 1979 г. институтом «Спецпроектреставрация» был подготовлен материал о музеефикации городища. Совместная Старорязанская археологическая экспедиция Института археологии РАН и Рязанского музея работает на городище с 1945 г. (возобновлена в 1994 г. после перерыва). С 1997 г. к работам экспедиции подключился Российский государственный гуманитарный университет. К сожалению, многие благие на-



Начальник экспедиции А.В.Чернецов (справа) и потомок местных помещиков искусствовед А.Б.Стерлигов на городище. 1994 г.

мерения пока так и остаются намерениями, а в некоторых отношениях налицо даже некоторый регресс: созданная в 70-х годах экспозиция в помещении Преображенской церкви перестала существовать; опыт музеефикации руин Спасского собора XII в. оказался неудачным (отре-

ставированные фундаменты заросли травой, и план собора «читается» только с воздуха); в очень ограниченном масштабе реализуется возможность посещения памятника экскурсантами и паломниками. Деревянный крест, установленный на месте братской могилы жертв мон-



Оползень на Северном городище Старой Рязани.



Последствия пожара 2008 г. (через несколько дней нужно принимать практикантов), рядом — пострадавшая от пожара кровля Преображенской церкви середины XVIII в.

гольского нашествия, которая была исследована археологами в 70-х годах, — результат самодельности местных дворовладельцев. Между тем недостаточное внимание к уникальному памятнику неизбежно влечет за собой негативные последствия. Некоторые из них связаны с неблагоприятными природными факторами, иные — с антропогенными воздействиями.

Городище постоянно разрушается в связи с образованием оврагов и оползней. Их динамике еще в 1999 г. начала исследовать группа геологов под руководством Е.И. Романовой. Проводившийся мониторинг позволяет установить темпы деструктивных процессов, в результате

которых постоянно сокращается площадь городища. А эти темпы таковы, что превышают темпы изучения памятника. Такое соотношение представляется крайне неблагоприятным. В последние два-три года развитие оползней на склонах надпойменной террасы Оки приняло особенно угрожающий характер. Древнейшая часть памятника, так называемое Северное городище, с 2007 г. разрушается оползнем шириной около 60 м и высотой 5—6 м. В 2009 г. разрушительные процессы переместились и на склоны Южного городища. Вообще говоря, подобные крупные обнажения представляют большой интерес для археологов, поскольку от-

крывают яркую картину стратиграфии памятника, которую в иных случаях удастся получить лишь путем исключительных трудозатрат. Нужно учитывать, однако, что при естественных процессах обнажения склонов происходит безвозвратная утрата больших объемов культурного слоя, причем на весьма важных участках памятника.

Грандиозные оползни возникли вдоль высокого берега Оки и тянутся на многие десятки километров. На территории близлежащего села Исады подобный оползень чуть не привел к разрушению замечательного храма, памятника архитектуры XVII в. Оползень перерезал подъезд к храму примерно в 5 м



Некоторые предметы, пропущенные «черными кладоискателями» и собранные археологами в 2005 г.:

1, 2 — цепочки и подвески от колоколовидных височных украшений; 3, 6 — колодочки, на которых подвешивались височные украшения (колты); 4, 5 — окончания «лучиков» звездчатых колтов.

от алтаря. Спасти храм удалось благодаря очень крупным работам, стоимостью в несколько миллионов рублей. Может быть, и Старорязанское городище стоит подобных затрат? Кстати, под угрозой и действующий храм середины XVIII в. в современном селе Старая Рязань: его цоколь и фундамент находятся в аварийном состоянии, кладки растрескиваются, обнаруживается явная тенденция к обрушению колокольни в сторону Оки.

Еще одна рана Старой Рязани — незаконные раскопки. Чаще всего это мелкие «закопушки» — след прогулок с металлоискателем. Мы тоже могли бы прочесывать всю площадь памятника и «ковырять» там, где зазвонит металлодетектор. Но археологам-профессионалам это запрещено — нельзя разрушать культурный слой памятника (если уж копать, то как минимум 4×4 м). Стало быть, непрофессионалы опережают нас по темпу!

Откровенно говоря, усилия единичного «черного копателя» на Старой Рязани вызывают у меня чувство сожаления — при такой площади памятника процент успеха чрезвычайно мал. Но когда таких «любителей» многие десятки (если не сотни), вероятность совокупного успеха оказывается довольно высокой. И что дальше? Клад может быть перехвачен ФСБ и передан в музей, как это произошло с кладом, найденным в 2002 г. [5. С.62]. Но и в таком случае часть информации бывает утрачена. Неясно, где именно был найден клад (обычно копатели и перекупщики темнят, уводят от подлинного места находки). По нашим пере проверкам иногда удается установить, откуда на самом деле происходит клад, но и в этом случае остается неизвестным, залегал ли он компактно, на какой глубине и т.п. Последний клад, происходящий, по видимому, из Старой Рязани,

приносили на продажу в Оружейную палату Московского Кремля весной 2009 г. Вещи уникальные, есть их фотографии, но в открытой печати анализировать их я не могу — чтобы не набивать цену награбленному. Кстати, вещи, найденные на городище, сразу же приобретают более криминальный характер, чем обнаруженные, скажем, в каком-то лесу. Ведь городище со всеми его сокровищами — собственность Рязанского музея. Стало быть, все добытое здесь — воровство в чистом виде.

Кто же и как должен следить за сохранностью важнейшего памятника археологии федерального значения? Очевидно, федеральные органы охраны памятников, а также, разумеется, правоохранительные органы и Рязанский музей, деятельность которого в последние годы сводилась лишь к установке памятных табличек, регулярно уничтожавшихся местными и проез-

жими вандалами. Поддержка музеем Старорязанской экспедиции носит довольно символический характер. Если в 70-х годах музей финансировал значительную часть работ экспедиции, то начиная с 1990-х годов ограничивается направлением одного, много — двух сотрудников! Правда, сейчас, при новом директоре, внимание музея к экспедиции, кажется, возрастает. Напомню еще, что в 70-х годах основной рабочей силой экспедиции были рязанские студенты, но теперь они практически не появляются в Старой Рязани. Похоже, Рязанская область совсем забыла про Старую Рязань, которая, кстати, не смогла попасть в список семи чудес Рязанского края! Единственной структурой, которая хоть как-то сохраняет память о городище и может сигнализировать о бедствиях, ему угрожающих (и не более!), остается Старорязанская экспедиция. А как ее встречает земля Рязанская — тема особая. Для работающей два месяца в году экспедиции важно иметь складские помещения, кухню, столовую, туалеты и т.п. В 2005 г. пожар уничтожил большую часть построек. У нас нет оснований подозревать кого-то в злостном поджоге — просто «ничейные» сооружения неподалеку от дороги не гарантированы от подобных эксцессов. В 2008 г. новый пожар уничтожил следующее поколение наших построек. Огонь перебрался на кровлю колокольни со-

седнего храма. Сколько сил и средств, нужных для научных изысканий, мы потеряли, дважды восстанавливая утраченное! Сейчас, наконец, зашел разговор о выделении Старорязанской экспедиции участка земли, где можно было бы строиться и застраховать наши сооружения.

В настоящее время московский Свято-Данилов монастырь и фонд «Русский предприниматель» при поддержке Государственной Думы РФ основали фонд «Старая Рязань», который проектирует создание на базе бывшей усадьбы помещиков Стерлиговых, что рядом с городищем, Русского центра «Старая Рязань», а также одноименного национального историко-культурного парка. Но проекты остаются пока проектами, а в ходе их реализации могут возникать различные коллизии, требующие вмешательства квалифицированных экспертов. Например, периодически встает вопрос о превращении активно используемого местными жителями родника на ручье Серебрянка в святой источник с купальней. Однако без предварительной гидрогеологической экспертизы этот проект чреват вредными последствиями и в части оползневой ситуации, и в части сохранности водоносных слоев, и в части сохранности культурного слоя городища.

В июле 2009 г. на базе Старорязанской экспедиции был проведен полевой семинар «Восточноевропейский средневековый город. Проблемы музеефици-

кации, охраны и туристского использования». Естественно, большое внимание было уделено перспективам, связанным со Старой Рязанью. На семинар съехалось немало народу; прозвучали доклады как многоопытных, так и начинающих исследователей; присутствовали представители и фонда «Старая Рязань», и музеев, и районного отдела культуры [5]. Семинар начался эффектной презентацией отреставрированного клада, обнаруженного Старорязанской экспедицией в 2005 г. [6].

Новых интересных идей было достаточно, но не хватало ключевого слова «внедрение». В данном случае нельзя ограничиваться говорильней, здесь нужно «власть употребить» или давать реальные деньги.

Пока писался этот текст, ко мне кружным путем (из Питера через Париж) пришло известие, что организаторы незаконных раскопок публично, через Интернет, созывают своих адептов на тур по Рязанской земле. Когда я уведомил об этом руководство Института археологии РАН (которое придает важное значение борьбе с незаконными раскопками), а также рязанских археологов и музейщиков, выяснилось, по счастью, что они уже в курсе.

Однако до каких пор законодательство об охране памятников будет пребывать в летаргическом сне? Сколько можно терпеть равнодушие к заветным святыням нашего народа? ■

Полевые исследования ведутся при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда (проект 09-01-18104е).

Литература

1. Даркевич В.П., Борисевич Г.В. Древняя столица Рязанской земли. М., 1995.
2. Даркевич В.П. Путешествие в древнюю Рязань. Записки археолога. М., 1993.
3. Великое княжество Рязанское: историко-археологические исследования и материалы / Отв. ред. А.В. Чернецов. М., 2005.
4. Лихачев Д.С. Повести о Николае Зарайском. Тексты // Труды отдела древнерусской литературы Института русской литературы (Пушкинского Дома) АН СССР. М.; Л.; 1949. Т.VII.
5. Восточноевропейский средневековый город. Проблемы музеефикации, охраны и туристского использования. Полевой научно-практический семинар. Старая Рязань, 7—9 июля 2009 г. Тезисы докладов. М., 2009.
6. Чернецов А.В. Шестнадцатый клад из Старой Рязани // Природа. 2006. №6. С.58—66.

Новости науки

Океанология

«Миры» на Байкале

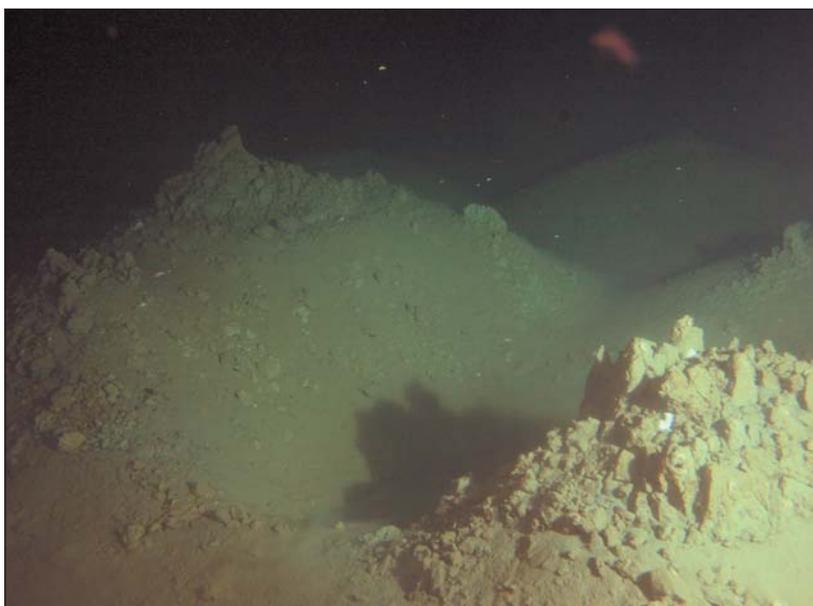
В 2008—2009 гг. глубоководные обитаемые аппараты «Мир-1» и «Мир-2»¹ работали на оз. Байкал в рамках научно-исследовательской программы ««Миры» на Байкале», которую осуществляли Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН и Фонд содействия сохранению оз. Байкал (ФССОБ) при участии Лимнологического института СО РАН, Бурятского института природопользования и других учреждений. Во время экспедиции было совершено 122 погружения, которые позволили сделать ряд замечательных открытий.

На дне Байкала обнаружены битумные постройки, из которых сочится нефть в виде отдельных капель; трубчатые образования с истечением газа («курильщики»); большие холмы, представляющие собой обширные депозиты твердых льдоподобных газогидратов. Проводились также наблюдения за бентосными организмами. Были зафиксированы на видеозаписях и отобраны образцы новых видов животных. За два года работы на Байкале собран большой

¹ О работах с ГОА «Мир» см. в «Природе» статьи: Сагалевич А. М., Москалев Л. И. Хемобиос на дне Тихого океана (1991. №5. С. 33—40); Сагалевич А. М., Лисицын А. П. Успехи исследований с подводными обитаемыми аппаратами (1996. №7. С. 26—37); Сагалевич А. М. «Мир-1» и «Мир-2»: нужны ли России достижения ее науки и техники? К 10-летию создания и эксплуатации (1998. №1. С. 37—50); Леин А. Ю., Сагалевич А. М. Курильщики поля Рейнбоу — район масштабного абиогенного синтеза метана (2000. №8. С. 44—53); Сагалевич А. М. «Мир-1» и «Мир-2» на гидротермальных полях Атлантики (2003. №2. С. 83—84); Сагалевич А. М. Репортаж из-под ледового купола (2007. №10. С. 50—57).



Места выхода метана на дне оз. Байкал в районе грязевого вулкана Санкт-Петербург. Глубина 1406 м.



Присыпанные осадком холмы твердых газогидратов; расположены в районе того же вулкана.



Поднятые со дна Байкала рачки семейства Gammaridae.

объем научных данных, которые требуют детальной лабораторной обработки.

В ходе Байкальской экспедиции состоялось погружение на «Мире-1» с участием премьер-министра России В.В.Путина: 1 августа 2009 г. аппарат опустился на глубину 1395 м и прошел вверх по крутому склону до глубины 400 м: погружение обеспечивали командир корабля пилот А.М.Сагалевич и борт-инженер В.А.Нищета. После короткого инструктажа В.В.Путин участвовал в работе экипажа как борт-инженер. Им было отобрано несколько образцов каменного материала, причем один взят с вертикальной стенки и отломлен от коренной породы — обычно такая операция требует хорошей профессиональной подготовки и большой практики. Во время погружения командир аппарата и премьер-министр беседовали о проблемах российской науки, в частности океанологических исследований.

В 2010 г. предстоят научные исследования с участием аппаратов «Мир» на гидротермальных полях Северной Атлантики, а также видеосъемки и археологические изыскания в районах нахождения затонувших судов «Титаник» и «Бисмарк». В последующие годы пла-

нируются глубоководные исследования на гидротермальных полях юго-западной части Тихого океана, у берегов Австралии, на Гавайских о-вах и в других районах.

© Сагалевич А.М.,
доктор технических наук
Москва

Климатология

Диоксид углерода в атмосфере раннего плейстоцена

Согласно теории сербского астронома М.Миланковича, есть два астрономических периода, вызывавших чередование климатических циклов. Первый, продолжительностью 40—41 тыс. лет, соответствует периодическому смещению точки равноденствия относительно перигелия Земли. Второй, около 100 тыс. лет, вызван колебаниями эксцентриситета земной орбиты. Данные бурения антарктического льда показывают, что в последние 800 тыс. лет изменения климата происходили преимущественно через 100 тыс. лет. Однако до этого периода они в основном были как раз 40-тысячелетними.

Высказывалось предположение, что переход от 40-тысячелетних колебаний к 100-тысячелет-

ним был вызван глобальным похолоданием, возможно, вследствие долговременного снижения концентрации CO_2 в атмосфере ($p\text{CO}_2$), но имеющихся данных для такого утверждения недостаточно. Наиболее точные данные о $p\text{CO}_2$ в древней атмосфере получены из анализа воздуха, заключенного в толще полярного льда. Вопреки предположению, что содержание CO_2 уменьшалось к концу плейстоцена, более ранние амплитуды и средние значения $p\text{CO}_2$ были ниже, чем более поздние. Однако данные, полученные из кернов льда, охватывают лишь последние 800 тыс. лет и всей протяженности переходного периода не покрывают.

Поскольку CO_2 хорошо перемещается в атмосфере всего за несколько лет, а между поверхностью океана и атмосферой тоже происходит быстрый обмен CO_2 , данные о составе биогенных морских отложений, характеризующие карбонаты у поверхности океана, могут служить указанием на ограничения для $p\text{CO}_2$ в атмосфере прошлых эпох. Изотопный состав бора в раковинах планктонных фораминифер — косвенная мера рН морской воды в прошлом. Этот показатель основан на рН-чувствительной равновесной обратимой реакции между двумя преобладающими в морской воде растворимыми соединениями бора и на фракционировании изотопов бора между этими соединениями. Содержание CO_2 в атмосфере можно оценить по изотопному составу бора в этих раковинах, если, во-первых, парциальное давление CO_2 в воде ($p\text{CO}_2$) на месте отбора колонки грунта находится в равновесии с атмосферным $p\text{CO}_2$, и, во-вторых, если известен еще один параметр системы карбонатного равновесия в воде, где росли фораминиферы. Работоспособность этого метода продемонстрирована количественной воспроизводимостью ряда временных интервалов значений $p\text{CO}_2$ из кернов со станции «Восток» путем анализа изотопного состава бора планктонных фораминифер *Globigerinoides sacculifer* при разумных

допущениях о щелочности морской воды.

В работе американских океанологов (Б.Хониш и др.) данные об изотопном составе бора за последние 400 тыс. лет, полученные в точке 668В Программы глубоководного бурения, были продолжены в прошлое на 2.1 млн лет назад. Скважина 668В расположена на подводном плато Сьерра-Леоне в восточной экваториальной части Атлантического океана (4°46'с.ш, 20°55'з.д.) на глубине 2693 м. Океанографические данные об окрестностях этой точки (из программы World Ocean Circulation Experiment Cruise A15, Station 34) показывают, что в современном океане парциальные давления диоксида углерода в воде (PCO_2) и атмосфере (pCO_2) находятся в равновесии. Таким образом, реконструировав в локальной точке химический состав карбонатов в морской воде, можно оценить PCO_2 и вывести pCO_2 .

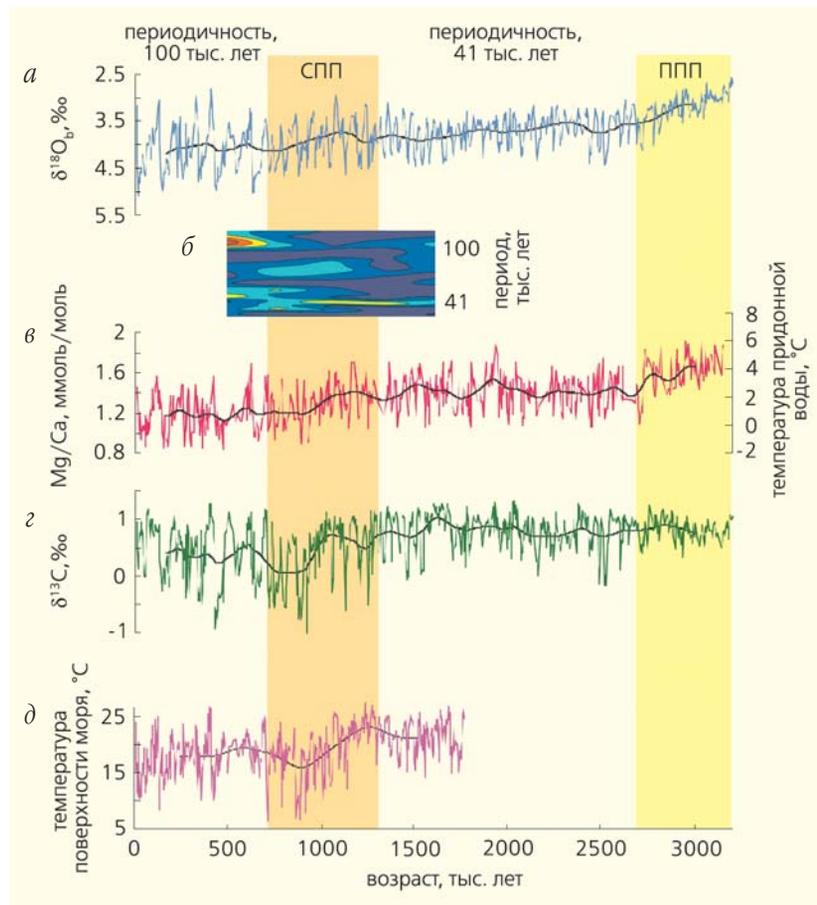
В исследованиях других американских океанологов (С.Сосдиан и Я.Розенталя) для реконструкции климатических изменений за тот же период были использованы колонки донного грунта, взятые из другой скважины — в точке 607 Программы глубоководного бурения. Полученные результаты подытожены на приведенном графике.

Science. 2009. V.324. №5934. P.1551—1554; V.325. №5938. P.306—310 (США).

Климатология

Изотопное фракционирование дейтерия в тропосфере

Соотношение легкого и тяжелого изотопов водорода в атмосферных осадках широко используется в климатологии как косвенный показатель температуры поверхности моря. Так, в палеоклиматических реконструкциях содержание дейтерия в кернах льда из антарктического и гренландского ледниковых щитов считается одним из важных источников данных о средней глобальной температуре в геологическом прошлом.



Данные С.Сосдиан и Я.Розенталя. а — соотношение изотопов кислорода; б — частотный спектр колебаний температуры придонной воды между 1500 и 500 тыс. лет назад: до среднелепистоценового перехода (СПП) преобладают циклы в 41 тыс. лет, после него — в 100 тыс. лет; в — соотношение Mg/Ca в бентосных фораминиферах; г — изотопный состав углерода в донных осадках; д — температура поверхности моря в точке 607; СПП и ППП (позднеплейстоценовый переход) выделены цветом; черные кривые — средние значения.

В работе международной группы ученых под руководством К.Франкенберга (С.Frankenberg; Институт космических исследований в Утрехте, Нидерланды) показано, что связь между температурой поверхности моря и содержанием дейтерия в атмосферных осадках нельзя считать однозначной, так как кроме испарения с поверхности на фракционирование изотопов водорода влияют также иные физические процессы в нижней тропосфере (например, конденсация водяного пара при адиабатических динамических процессах, повторное испарение капель воды в облаках

и другие особенности гидрологического цикла).

В работе Франкенберга и его коллег концентрации дейтерия измерялись не в жидкой или твердой фазе, а непосредственно в водяном паре с помощью спектрометров ближнего инфракрасного диапазона, установленных на спутнике «Aqua», который был запущен в 2004 г. НАСА на околополярную орбиту специально для изучения земной атмосферы. Дистанционное зондирование позволяет измерить соотношение HDO/H_2O в нижней тропосфере над разными районами суши и моря и в разные времена года (осреднено по высо-

те до 2 км от поверхности, где со- держится большая часть водяного пара). Выявлена значительная ва- риабельность этого соотношения во времени и пространстве. В ча- стности, отчетливо выражены се- зонность и связь с глобальной тропосферной циркуляцией. Осо- бенно сильно это соотношение меняется между разными широт- ными поясами, причем изменения хорошо коррелируют с зонами восходящих и нисходящих пото- ков ячеек Хэдли.

Авторы заключают: изучение географической и сезонной вари- абельности отношения HDO/H₂O позволит проверять реалистич- ность предлагаемых моделей кли- мата, и в первую очередь то, на- сколько хорошо они воспроизво- дят особенности гидрологическо- го цикла: испарение, формирова- ние облачного покрова и массопе- ренос влаги в тропосфере.

Science. 2009. V.325. P.1374–1377 (США).

Климатология

Тают ледниковые щиты Гренландии и Антарктиды

В марте 2002 г. стартовала кос- мическая программа GRACE (Gra- vity Recovery and Climate Experim- ent). Два спутника Земли разде- лены расстоянием 220 км. Пролет- ая друг за другом, они претерпе-

вают ускорение и замедление над любым горным массивом. Высоко- точное измерение меняющейся дистанции между спутниками поз- воляет вычислить горную массу, которая возмущает усредненное гравитационное поле Земли.

Особое значение имеют регу- лярные измерения массы ледни- ковых щитов Гренландии и Ан- тарктиды, показанные на графиче- ских (данные I.Velicogna, University of California, USA). Очень важен тот факт, что сокращение ледяно- го покрова проходит с ускорени- ем. Если такая тенденция продол- жится, то весь лед Гренландии массой около $2.6 \cdot 10^{15}$ т может растаять через 400–500 лет, подняв уровень океана на 7 м. Леднико- вый щит Антарктиды массой $2.8 \cdot 10^{16}$ т тает примерно с тем же темпом. К концу текущего столе- тия следует ожидать, что уровень океана возрастет от полуметра до метра.

Science. 2009. V.326. P.217 (США).

Климатология

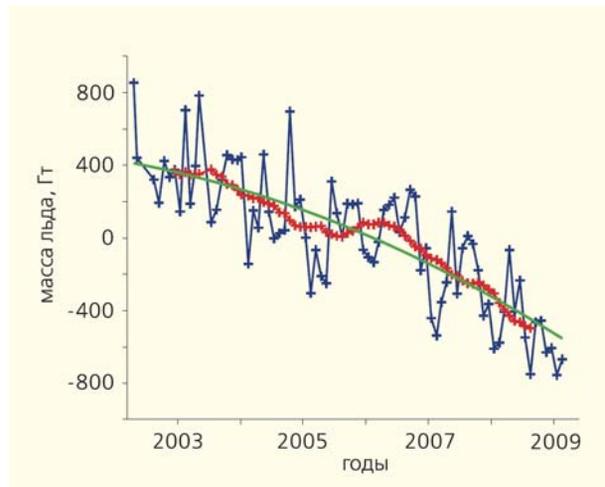
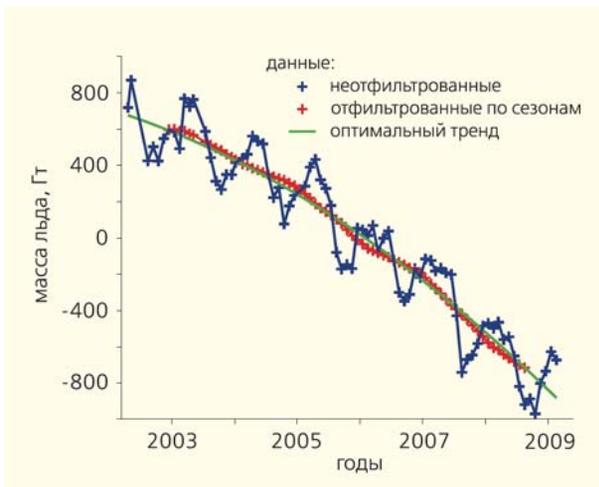
Климат Арктики за последние 2000 лет

Современное потепление наи- более выражено в арктическом бассейне, что, по мнению многих климатологов, может заметно по- влиять на глобальные изменения климата из-за существенного вкла-

да арктического морского льда в радиационный баланс Земли.

В новом исследовании ученых из разных научных учреждений США и Дании впервые представле- на реконструкция климата Аркти- ки за последние 2000 лет с декад- ным разрешением. Она составлена на основе статистического обоб- щения косвенных показателей температуры, которые выведены из анализа отложений в многочис- ленных озерах, расположенных выше 60°с.ш. и распределенных по всей субарктической зоне. Эти данные были дополнены другими косвенными показателями средне- годовой и летней температуры, по- лученными на базе изучения кер- нов льда и годовых колец деревьев. Новая реконструкция включает исто- рию резких изменений климата доиндустриальной эпохи, в том числе связанных с малым леднико- вым периодом и предшествовав- шими ему теплыми периодами.

Сравнение такой реконструк- ции с результатами, полученными посредством общепринятой моде- ли климатической системы (Com- munity Climate System Model), пока- зало одинаковую их чувствитель- ность к изменениям освещенности в последние 2000 лет. Это подкреп- ляет гипотезу, что наблюдаемый долговременный тренд похолода- ния в доиндустриальную эпоху был связан с неуклонным уменьшением освещенности арктического бас-



Изменения масс ледниковых щитов Гренландии (слева) и Антарктиды (справа): ломаные линии — данные измерений и их аппроксимации при сглаживании сезонных колебаний.

сейна в летние месяцы из-за изменения орбитальных параметров Земли. Однако тенденция к похолоданию сменилась потеплением в XX в., и в результате четыре из пяти самых теплых десятилетий за последние 2000 лет наблюдались между 1950 и 2000 гг.

Отличительная особенность нового исследования заключается в значительной продолжительности изучаемого периода и чрезвычайно высоком временном разрешении, что было достигнуто благодаря использованию озерных отложений вместо морских, на которые опирались предыдущие реконструкции (для последних точность датирования значительно ниже).
Science. 2009. V.325. P.1236–1239 (США).

Климатология

Мамонтов сгубила комета?

Около 13 тыс. лет назад в Северном полушарии наступило внезапное резкое похолодание, известное как поздний дриас. Одновременно вымерло большинство крупных млекопитающих севера Евразии и Северной Америки — мамонты, верблюды и др. — более 30 видов. Причина вымирания до сих пор неизвестна, а предлагавшиеся объяснения неудовлетворительны.

Американские исследователи представили результаты анализа проб богатой углеродом погребенной почвы, которые взяты из десятков точек Северной Америки и относятся к этому периоду. Обнаружены как следы массовых степных пожаров, так и частицы, характерные для падения крупного космического тела: микросферы из аморфного углерода, фуллерены, содержащие гелий внеземного происхождения, и наноплазмы, часто встречающиеся в импактных кратерах. Исследователи выдвинули гипотезу: массовое вымирание мегафауны в начале позднего дриаса, как и само похолодание, вызвано столкновением Земли с крупной кометой или роем кометных обломков, вероятно, взорвавшихся в воздухе над Лав-

рентийским ледниковым щитом. Столкновение привело к массовым пожарам и запылению атмосферы, которое на несколько лет блокировало фотосинтез и подорвало пищевую базу крупных травоядных млекопитающих.

Science. 2009. V. 323. № 5910. P. 94 (США).

Организация науки. Физика

Нанотехнологии — в жизнь

Чернила, которые оставляют отпечатки на любой поверхности; декоративные шторы, поглощающие радиоизлучение; трековые мембраны — фильтры для очистки воздуха и воды; сенсорные анализаторы для обнаружения простых и сложных веществ; новейшие модели сканирующих зондовых микроскопов; макеты будущих заводов по производству биотоплива из бытовых отходов — это и многое другое можно было увидеть 6–8 октября 2009 г. в Москве, на выставке Rusnanotech, проходившей в рамках Второго междугородного форума по нанотехнологиям.

Стенды, рассказывающие о новейших достижениях в области нанотехнологий, представили как отдельные учебные заведения и исследовательские организации, так и целые регионы, а также зарубежные гости. Такой форум ежегодно проводит государственная корпорация «РОСНАНО»; от традиционных научных конференций его отличает акцент на внедрение результатов исследований в производство. Помимо 17 научно-технологических секций, посвященных методам нанодиагностики, математического моделирования, наноматериалам и наносистемам, их использованию в энергетике, наноэлектронике, биотехнологиях, медицине, было проведено 20 панельных дискуссий о перспективах бизнеса в сфере нанотехнологий и 22 сессии презентаций конкретных продуктов, решений, подходов. Среди более чем 3500 участников форума из 36 стран было немало бизнесменов, в том

числе руководящих работников таких известных фирм, как Hewlett Packard (США), Nokia (Финляндия), Fiat (Италия) и др. Растет интерес к внедрению нанотехнологий и у нас: сейчас «РОСНАНО» поддерживает 36 проектов разного масштаба, ориентированных на создание высокотехнологичных производств. В целом в России реализуется крупнейшая в мире государственная инвестиционная программа в сфере нанотехнологий — до 2015 г. на эти цели будет выделено 318 млрд руб.

Разумеется, нанотехнологии развиваются не на пустом месте — их базой служат многолетние изыскания в области микроэлектроники, что еще раз доказывается первым присуждением Роснано-премии (RUSNANOPRIZE): ею отмечена разработка метода молекулярно-лучевой эпитаксии. Этот метод обеспечивает эпитаксиальный (ориентированный послойный) рост одного кристаллического материала на поверхности другого в условиях сверхвысокого вакуума. Он позволяет создавать гетероструктуры заданной толщины с атомарно-гладкими поверхностями раздела и желаемым профилем легирования. Лауреатами премии стали академик Леонид Вениаминович Келдыш (Россия), профессор Альфред И Чо (Alfred Yi Cho, США) и компания Riber S.A. (Франция). Келдыш свои первые теоретические работы, в которых предсказывалась перспективность использования периодических полупроводниковых наноструктур в электронике и оптоэлектронике, опубликовал еще в 1962 г. В конце 60-х у истоков создания данной технологии стоял Чо. А французская фирма награждена за разработку промышленного оборудования молекулярно-лучевой эпитаксии. Без преувеличения можно сказать, что работы лауреатов заложили основу для самого разнообразного применения полупроводниковых наногетероструктур: в телекоммуникационных системах (сотовая телефония, Интернет), полупроводниковых источниках света (светодиоды, лазеры), фотоприемниках (системы наблюдения и кон-



Одна из витрин на выставке.

троля), полупроводниковых солнечных батареях (фотоэнергетика), полупроводниковых сенсорах (интеллектуальные системы управления и робототехника).

Ежегодная международная премия в области нанотехнологий RUSNANOPRIZE учреждена корпорацией «РОСНАНО», чтобы отмечать не только выдающиеся научно-технологические разработки и изобретения ученых и компаний, но и внедрение результатов в массовое производство. Каждый год премия будет присуждаться по одному из четырех направлений — наноэлектронике, нанобиотехнологии, наноматериалам, нанодиагностике. В этом году она составила 3 млн руб.

На форуме впервые вручили Молодежную премию в области наноиндустрии (300 тыс. руб.). Ее получил инженер-электронщик томского НПП «Сенсерия» Евгений Севастьянов за разработку и внедрение принципиально нового пожарного извещателя — он обнаруживает молекулы газа, выделяющиеся на начальной стадии пожара, с помощью газового сенсора на нанокристаллических пленках металлооксидных полупроводников.

Завершился форум чествованием победителей Международного конкурса научных работ мо-

лодых ученых в области нанотехнологий. Из 518 представленных докладов авторам 51 лучшей работы и их научным руководителям были торжественно вручены дипломы и денежные премии от 30 до 50 тыс. руб.

www.rusnanoforum.ru

Физика

Сверхпроводимость на службе у ОТО

Число экспериментов, для объяснения которых необходимо привлечь общую теорию относительности Эйнштейна, можно пересчитать по пальцам. В качестве примера обычно приводят результаты измерения прецессии орбиты Меркурия. А можно ли ограничиться исследованиями в лабораторных условиях, не прибегая к помощи астрономов? В принципе — да, но такая лаборатория должна находиться в космосе. Теория предсказывает, что тело, вращающееся по околоземной орбите, должно пресцессировать с угловой скоростью $6.6''/\text{год}$ в плоскости орбиты и $0.042''/\text{год}$ — перпендикулярно этой плоскости. Однако регистрация такого мизерного эффекта долгое время считалась невозможной.

Американские ученые предложили провести эксперимент в жидком гелии, используя сверхпроводник в качестве ротора¹. Направление его оси вращения можно с очень высокой точностью определить по направлению магнитного (лондоновского) момента, сопутствующего вращению сверхпроводника. Для этого потребовалось еще одно устройство — сверхпроводящий квантовый интерферометр Джозефсона (СКВИД). Расчеты показали, что его точности должно хватить для регистрации прецессии оси вращения. Проект получил название «Gravitation Probe B» (GPB).

Спутник со всем необходимым оборудованием был выведен на орбиту в 2008 г. Сейчас ученые занимаются обработкой полученных данных. Собственно говоря, в справедливости ОТО мало кто сомневается. Но обращает на себя внимание сам факт использования одного фундаментального явления (сверхпроводимости) для исследования другого, еще более фундаментального (гравитации). Да и кто знает, к чему приведет расшифровка результатов...

<http://perst.issp.ras.ru>
(2009. Т.16. Вып.1/2).

Морская геология

Благородные и цветные металлы в железомарганцевых корках Охотского моря

По сообщению Н.В.Астаховой (Тихоокеанский океанологический институт им.В.И.Ильичева ДВО РАН, Владивосток), впервые обнаружены включения мелких зерен цветных и благородных металлов в железомарганцевых корках Охотского моря.

К числу основных видов твердых полезных ископаемых Мирового океана относятся железомарганцевые образования (ЖМО), отличающиеся высоким содержанием железа, марганца, а зачастую также благородных и цветных металлов. Однако до сих пор вопрос

¹ Mason P. // Cold Facts. 2008. V.24. №4. P.30.

о форме нахождения и генезисе благородных и цветных металлов в ЖМО остается дискуссионным. Одни исследователи считают, что эти металлы извлекаются гидроксидами марганца и железа из морской воды, другие — что их источниками служат постмагматические или гидротермальные растворы. Существует также теория о внеземном происхождении платиноидов и некоторых других тяжелых металлов, оказавшихся в виде «космогенных шариков» в составе ЖМО во время их роста.

Содержание макроэлементов (Fe, Mn, Si, Al, Ca, Mg, Ti) и микроэлементов (Ni, Co, Cu, Pb, Mo, Zn) в железомарганцевых корках определялось по их образцам, поднятым в экспедициях ТОИ ДВО РАН в Охотском море в 1999—2001 гг. Для выяснения форм нахождения и особенностей распределения благородных и цветных металлов были изготовлены шесть шлифов железомарганцевых корок, взятых из центральной части Охотского моря (банки Кашеварова, впадины Дерюгина, возвышенности Академии наук).

Банка Кашеварова находится на северо-западной границе шельфа Охотского моря. Северный склон этой горстообразной структуры, вытянутой в субширотном направлении на 800 км при ширине 50—70 км, переходит в мелководный шельф, а южный представляет собой северный склон впадины Дерюгина, круто падающий до глубины 1500 м. На этом склоне были подняты угловатые обломки железомарганцевых корок толщиной до 2 см. Цвет всех корок черный, блеск жирный, одни образованы сросшимися микроконкрециями, другие — однородные, с неясно выраженной слоистостью; больше всего корок с верхним монолитным слоем мощностью 3—4 мм и нижним оолитовым. Валовое содержание железа в корках достигает 14,5%, марганца — 16%.

Впадина Дерюгина — это абиссальная долина, ширина которой 185—220 км, максимальная глубина 1795 м. Она сформировалась в зоне наибольшего разрушения

литосферы Охотоморской плиты, испытавшей сильнейшее воздействие рифтогенных процессов. В центральной части впадины прослежена область марганцевых металлоносных осадков. Они образуют 30-сантиметровый поверхностный слой и протягиваются на 180 км в полосе шириной до 40 км. В северо-восточной части впадины находится поле низкотемпературных гидротермальных баритовых холмов. Одна из поверхностей поднятых здесь обломков часто покрыта тонкой, в 1—2 см, корочкой гидроксидов марганца; очень тонкие прослои этого минерала наблюдаются и внутри образцов. На некотором удалении от баритовых холмов на поверхности дна обнаружены как плотные темно-коричневые, толщиной около 1 см, так и рыхлые более светлые железомарганцевые корки толщиной до 1,5 см. В этих корках содержится почти эквивалентное количество железа (15,2%) и марганца (14,5%).

Возвышенность Академии наук расположена южнее впадины Дерюгина и протягивается на 278 км при ширине 93 км. Глубина над выровненной поверхностью — 860 м. На юго-восточном склоне возвышенности выделены три участка с проявлениями молодого подводного вулканизма. Железомарганцевые оксиды цементируют гальку и обломки пород, образуя своеобразные конгломераты и покрывая их коркой до 2 см толщиной. Содержание железа в корках 17,7%, марганца — 3,1%.

Цветных металлов в корках содержится крайне мало (десятые и сотые доли процента, что существенно ниже, чем в рудных корках Тихого океана).

На основе данных химического состава и пространственной приуроченности рудных отложений к тектонически активным зонам автор делает вывод, что образование железомарганцевых корок в центральной части Охотского моря связано с гидротермально-осадочным процессом.

Во всех образцах рудных корок найдены включения благородных и цветных металлов различ-

ного состава. Наиболее широко распространено серебро, реже встречаются мелкие зерна золота, меди, вольфрама, оксидов сурьмы и др. Выявлено несколько очень мелких зерен самородного золота, а в корках впадины Дерюгина обнаружено относительно крупное (10 мкм в длину) остроугольное зерно золота с примесью меди и серебра.

Из самородных металлов кроме золота и серебра встречаются железо, вольфрам, медь и очень мелкие зерна никеля. Хаотичное распределение золота и серебра в гидротермально-осадочных железомарганцевых корках центральной части Охотского моря дало основание предположить, что это механическая примесь, поставляемая гидротермальными плюмами. Наиболее характерно это для впадины Дерюгина, на дне которой обнаружены поле металлоносных осадков и выходы метана. Но если для впадины Дерюгина и банки Кашеварова можно допустить терригенный источник этих металлов, то для корок подводных вулканов центральной части моря и на океаническом склоне Курильской дуги он крайне сомнителен.

Итак, автор приходит к следующим выводам: цветные и благородные металлы в гидротермально-осадочных рудных корках Охотского моря представляют собой механическую примесь, а не сорбируются из морской воды железомарганцевыми гидроксидами; источником благородных металлов, вероятнее всего, служат гидротермальные плюмы; цветные металлы могут попадать в железомарганцевые корки двумя путями — из гидротермальных плюмов и из подстилающего субстрата, который захватывался во время роста корки; значительные количества самородных металлов, сульфидов и интерметаллических соединений меди, никеля, олова, свинца, цинка в рудных корках банки Кашеварова позволяют выделить этот район как перспективный для поиска полиметаллических руд.

Океанология. 2009. Т.49. №3. С.440—452 (Россия).

Репортаж из-под завалов: век спустя

А.А.Никонов,

доктор геолого-минералогических наук
Институт физики Земли им.О.Ю.Шмидта РАН
Москва

При том обилии книг, хороших и разных, которое ныне выходит в стране и за рубежом, непросто выделить такую, которая нашла бы отклик у широкой аудитории. Автору настоящих заметок выбирать не было надобности: книга, выпущенная под одной обложкой на итальянском и русском языках, сама пришла в руки в виде подарка с посвящением (и тоже на двух языках).

Сергея Сергеевича Чахотина в России знают, пожалуй, немногие. Между тем биолог (вернее, биофизик) Чахотин — крупный ученый, общественный деятель, автор книги «Насилие над толпой», соратник ряда выдающихся ученых (например, И.П.Павлова и В.Рентгена). Чахотин — практически наш современник. Прожив 90 лет, умер в Москве в 1973 г. Большую часть жизни работал за границей, в разных странах, областях знания и сферах.

Основа рецензируемой книги — рассказ только об одном эпизоде жизни Чахотина. Но как! Автор и его семья попали в самый центр (тут не будет ни ошибкой, ни красивым словом сказать — в эпицентр) Мессинской катастрофы 1908 г.*. Записки написаны несколько месяцев спустя, а впервые опубликованы лишь к 100-летию трагедии.

Пишущий эти строки давно собирает описания разного ро-

да катастроф. Большинство людей, застигнутых землетрясением силой 9 и 10 баллов в домах, чудесным образом оказывались снаружи и, если сохраняли присутствие духа, описывали происходящее как бы со стороны. Сергей Степанович оказался под завалами, в полном одиночестве и без помощи находился там половину суток. Его описание этих роковых нескончаемых двенадцати часов, которые прошли в полной темноте, придавленности, скованности, с мерцающим сознанием, полно подлинного драматизма. Все это время он находился на грани жизни и смерти в прямом смысле, а временами, похоже, даже заходил за эту грань.

Поскольку в России книга вряд ли будет легко доступна, приведем хотя бы несколько отрывков из нее.

<...> Боже, что это такое?

Гул... Звон... Дребезжание стенок... Моя кровать...

Ах, гибель, конец!

Мгновение — и я понял, что это землетрясение. Как — конец? Уже?

Мгновение — и я соскочил с кровати. Бросился к двери, ведущей в коридор. Вокруг все тряслось в безумной дикой пляске, трепетало в ужасном припадке. Мысли молнией неслись в голове... Жена, Сережа... Дыхание остановилось... (с.86).

<...> Пошевелинуться нельзя было совсем. Наступила страшная тишина, колебания прекратились. Опять я услышал свой голос, но уже не тот высокий и резкий, а слабый и упавший:



S.Tchakhotine. SOTTO LE MACERIE DI MESSINA. Racconto di un sopravvissuto al terremoto del 1908 / A cura di G.Iannello. Traduzione dal russo G.Iannello. (С.Чахотин. ПОД РАЗВАЛИНАМИ МЕССИНЫ. Рассказ заживо погребенного в землетрясении 1908 года / Под ред. Дж.Ианнелло. Тексты на русском языке под ред. А.Войтенко.)

Messina: Intilla Editore, 2008. 156 p.

* См.: Никонов А.А. Между Сциллой и Харибдой. К 100-летию Мессинской катастрофы // Природа. 2008. №12. С.36—50.

“вот и кончена жизнь”. Я стал задыхаться... (с.87—88).

<...> Инстинктивно-радостное чувство по поводу того, что не убит, сменилось тупым сознанием, что все равно умру здесь вскоре (с.88).

<...> Глухое молчание. Вдруг закричал громко изо всех сил: “Эмма, Эмма, Сережа!”

Все было в этом крике: и мольба, и отчаяние, и страстное желание услышать еще милые голоса, и страх, страх услышать их исковерканными, стонущими, молящими о помощи. Боже, если я их услышу, я не выдержу, я сойду с ума. Жуткое молчание (с.89).

<...> Ах да, они убиты, убиты, умерли. Теперь только начинаю понемногу осознавать это слово во всем его ужасном реальном значении. Значит, всю жизнь я его знал, повторял, не понимая (с.89).

<...> Положение безвыходное, ясно сознаю это, но одновременно замечаю, что это не производит на меня никакого впечатления, просто холодный научный вывод. Мне-то кажется, что жизнь и смерть мне безразличны, слежу за собой и замечаю, что мысль о реально наступавшей гибели совсем явная, но желания спастись нет. Ум, точно откуда-то сбоку, со стороны, наблюдающий этот парадокс, удивляется. И, удивляясь, опять замечаю, что всплывает смутное чувство сожаления, досады, что нельзя этот интересный факт передать “туда”, наверх, в жизнь, которая будет идти без меня, сообщить в научные журналы (с.90).

Поразительно, как человек сохранил способность точно и трезво обнаруживать и фиксировать все окружающее, собственные мысли и переживания в этой экстремальной ситуации. Таково свойство настоящего исследователя. В самые критические моменты он думал о том, как донести ощущения и переживания человека, балансирующего на грани жизни и сознания.

В той же Мессине, и при многих-многих других сильных землетрясениях спасшиеся люди в большинстве или попросту теряли рассудок, или их психика менялась до неузнаваемости, а действия переставали быть контролируемыми и адекватными. Чахотин, переходя от сознания к забвению, от отчаяния к надежде, от полного замирания к целенаправленным действиям, оценивал ситуацию, продумывал последствия и варианты (в том числе реальность собственной мучительной смерти под завалом). И все это точно запечатлелось в его памяти, а затем и в записках.

<...> Появляется досада, сознание непоправимого растет, ширится, распространяется на другие возможности, другие мысли, желания, наступает откуда-то волна ужаса: нет, нет, не могу, не хочу этого, не может быть, чтоб все это уже случилось. Нет, не надо, как вернуть, как избежать? (с.92).

<...> Тогда утешаю я себя, убеждая: ничего, еще недолго, все должно кончиться. Все, как бы ужасно ни было, все имеет конец; знание мне говорит, что в этих условиях сознание не может сохраниться долго, а там недалеко уже и до вечного конца (с.93).

<...> Подать о себе последний знак туда, наружу, родным, которые, конечно, приедут, будут искать меня и найдут здесь мой труп. Я могу сказать им, что не был убит наповал, что я жил, думал в своей яме, могу передать свои последние пожелания, свое прощание. Для этого мне нужен гвоздь или палочка, а в качестве чернил послужит моя кровь — надо лишь расцарапать посильнее руку (с.94).

<...> Вот они меня вытянут, бережно внесут вниз в город; там наверно уже есть санитарная помощь, бараки, а может быть, и некоторые госпитали уцелели... меня окружают заботой, обмотают, перевяжут, уложат в постель... (с.97—98).

Звук их голосов... Сердце у меня упало. Слышу и не верю, не хочу верить. “Ну, говорят, прощай, мы ничего не можем сделать для тебя, мы попробовали все, у нас никаких орудий нет, ничего не выходит, помощи ждать неоткуда. Над тобой столько всего наворочено, что здесь и трех дней не хватает, чтобы высвободить тебя; что же делать, бедный человек, прощай, поручи свою душу богу”. Я обомлел... (с.98).

<...> Молю, кричу, зову их. Напрасно, шаги удаляются, безжалостные, торопливые, точно бегут, чтобы скорее не слышать моих мольб и заклинаний (с.98—99).

<...> Высвободив обе руки, я с новым рвением берусь за дальнейшую работу — мыслей больше никаких, ни чувств, одно только владеет мною: работать, работать не отдыхая, скорее, чтобы вырваться. Теперь я уже знаю, что это возможно (с.100).

<...> Но ведь это значит угроза гангрены. Неужели мне суждено после всего все же остаться здесь и наблюдать час за часом, как омертвление будет подниматься из этой ноги, как оно будет ползти все выше и выше, как появится при жизни еще, при сознании, гнилой запах заживо разлагающегося тела, появятся трупные пятна... Боже, какой ужас! Опять судорожно взялся за работу (с.100).

<...> Сколько раз я в изнеможении, в полном отчаянии опускаю руки, обессиленный падаю на окружающий меня песок, сколько раз опять берусь, опять копаю, тащу, вытягиваю. Ничего, ни с места (с.101).

<...> Вдруг с ужасом замечаю, что спасая меня повисшая над головой железная балка слегка изогнулась в пустое пространство надо мной. Значит сверху что-то давит со страшной силой. Дамоклов меч! Боже, а я ни взад ни вперед. Каждую минуту она может рухнуть, может сломаться и, значит, в одно мгновение я буду раздавлен (с.102).

<...> Все надвигается, все выгибается. Кто из нас обоих успеет раньше? Я или она?

В страшном волнении, весь дрожа, судорожно дергаю, прижимаю обеими руками вниз, тащу свою проклятую ногу. О! Еще нечеловеческое усилие, еще, еще — идет, идет. С сильнейшим напряжением я вытаскиваю ее из под столика, я извиваюсь весь, силясь повернуться, поворачиваюсь, как-то весь поджимаюсь и начинаю ползти на четвереньках кверху и назад, лишь бы скорее подальше от балки. Что-то рвет и царапает мне тело, обрывает лоскутья моей изодранной рубашки, но я ничего почти не замечаю, я чувствую, что это последнее усилие, что надо собрать все силы, вот-вот и они мне изменят. Нет, все что угодно, только не обратно в эту яму, под мой Дамоклов меч! Я ползу, прижимаюсь, цепляюсь, подтягиваюсь, воздуха все больше, вокруг хаос обломков, доски с торчащими гвоздями, солома, стропила, сломанные расщепленные, черепица, ржавые листы железа, все точно застыло в каком-то диком вихре.

Вот, вот уже близко... близко... я выбрался... я на крыше (с.103).

Записки Чахотина — документ редчайший. Для сейсмолога текст важен деталями проявления землетрясения (толчков) и поведения в это время элементов конструкций, интерьера и людей. Мне, в частности, удалось обнаружить сходство в специфике проявления первого и второго толчков по описанию Чахотина и по ранее известным свидетельствам. Это важно не столько как дополнительное подтверждение кинематики процесса, но и само по себе, поскольку сообщение нашего автора пришло совсем из другой части города, чем прежде.

Немало полезного могут извлечь из свидетельств Чахотина современные спасатели, разрабатывающие сценарии помощи пострадавшим. Такие записи, как у Чахотина из-под завала, на мой

взгляд, особенно важны для психологов и этологов, специалистов по стрессам, возникающим у людей в экстремальных ситуациях. Да и для любого человека это такой впечатляющий пример самообладания, преодоления, возможности и необходимости перехода в экстремальной ситуации от полной растерянности и отчаяния к продуманным целенаправленным действиям по собственному спасению, какой сыскать трудно. Конечно, Чахотин, как говорится, родился в рубашке, как и его жена, двухлетний сын и сын, появившийся на свет месяц спустя. Но его рубашка была совершенно особенной — «сейсмической». Дело в том, что Степан Чахотин, отец Сергея, был русским послом в Константинополе. Он вывез жену незадолго до родов «на дачу» на Принцесы о-ва, что на крайнем востоке Мраморного моря. Так случилось, что наш герой появился на свет, когда произошло землетрясение и закричали ослы.

Родившемуся во время землетрясения Сергею Чахотину было предопределено встретиться в жизни с этим явлением снова и всерьез. И он достойно встретил этот вызов в прямом и переносном смысле.

Тот, кто хоть немного знает историю землетрясений в Турции или интересовался историей христианского храма, ставшего затем главной мечетью Стамбула Айя-София, может подумать, что речь идет об известном землетрясении 1894 г. с эпицентром как раз вблизи Принцесы о-вов. Но Чахотин родился на 11 лет раньше. Землетрясение было другое, практически неизвестное. До трагедии Мессины оставалась четверть века.

Из десятков тысяч попадающих в подобные ситуации при сильных землетрясениях выживают сотни, в лучшем случае несколько тысяч, а объективно и толково передать полезную информацию могут единицы из них. Заваленными и не сразу погибшими в Мессине оказались

десятки тысяч человек. Итальянцы по суше вывезли в Катанию (только туда и можно было вывозить по суше) около 400 человек. Русские моряки откопали из развалин несколько сотен пострадавших (всего они содействовали спасению около 2 тыс. человек), допустим, столько же откопали англичане и итальянцы. Всего удалось спасти вряд ли более нескольких тысяч. А погибло много десятков тысяч. Сколько же голосов из-под земли зафиксировано печатно? Вряд ли более нескольких десятков. Из рассказов самих пострадавших голос Чахотина, думается, самый достоверный и жизненный.

Судьба записок, как и их автора, необычна. Написанные по свежим следам события, в начале 1909 г., они были подготовлены к печати в 1925 г., но впервые опубликованы только теперь — к столетию катастрофы, к тому же в Италии. Рукопись хранилась у сына автора на севере Италии. Так что издатели, подготовив и выпустив книгу в 2008 г., сделали не просто полезное, но воистину нужное и благородное дело. Шутка ли, через 100 лет после катастрофы озвучить и закрепить в памяти людской такой голос.

Книга издана в серии «Библиотека культуры». Остается назвать имена издателей. Редактор книги, автор сопровождающих очерков, переводчик на итальянский язык — Джузеппе Йаннелло, тексты на русском языке публикуются под редакцией Александры Войтенко. Эти люди давно делают большое дело по сохранению и приумножению российско-итальянских культурных связей. В Италии они известны как организаторы и системные менеджеры специального сайта «Russianecho».

Низкий поклон издателям от научного сообщества и от соотечественников ученого. Такие книги необходимо издавать и в России, чтобы мы лучше знали соотечественников не только знаменитых и великих, но и «просто» достойных и преданных Родине. ■

География

К.С.Померанец. НЕСЧАСТЬЯ НЕВСКИХ БЕРЕГОВ. Из истории петербургских наводнений. М.: Центрполиграф, 2009. 430 с.

Автор книги — океанограф — в первой части рассказывает о причинах и механизмах наводнений в городе на Неве. Эти катастрофы должны быть предотвращены строительством дамбы (против которого, как известно, есть серьезные возражения у экологов). Во второй части речь идет о хмурой петербургской погоде, которая, впрочем, не мешает жителям Северной столицы страстно любить свой город, а гостям — восхищаться его изысканной и строгой красотой.

Самой объемной стала глава о памятных наводнениях, описания которых сохранились в документах, но более всего — в произведениях литературы и искусства. Среди них недосыгаемо возвышается «Медный всадник», действие которого происходит на фоне наводнения 7 ноября 1824 г. — наивысшего в истории города. «Благодаря пушкинскому шедевру петербургские наводнения приобрели мировую известность», — считает автор.

Петербург — самый северный из крупных городов мира — расположен на 60-й параллели, всего примерно в 700 км от полярного круга (приблизительно такое же расстояние от Москвы). Но это также и западный город, находящийся на 30-м восточном меридиане, относительно недалеко от Атлантического океана. Отсюда переменчивость погоды — то по-северному су-

ровой, то по-европейски мягкой. Здесь пролегают пути атлантических циклонов с резкими колебаниями атмосферного давления и штормовыми ветрами. Петербург вознесся «по мшистым топким берегам» на низкой суше островов невской дельты. Так сочетаются два условия, необходимые и достаточные для образования морских наводнений — штормовых нагонов, трудно предсказуемых и опасных. Со дня основания города произошло 324 наводнения, когда вода в Неве поднималась выше 160 см и начиналось затопление низко расположенных городских территорий.

Трагическое событие в жизни и истории города, наводнение 28 сентября 1924 г., поразило «странным — по словам Пастернака — совпадением»: прошло сто лет со дня наводнения, описанного в «Медном всаднике». И уже в наши дни поэт А.С.Кушнер вопрошает:

*Два наводненья, с разницей
в сто лет,*

*Не проливают ли какой-то свет
На смысл всего?..*

Сказанного, наверное, достаточно для очень краткого представления книги. Впереди у читателя еще одна ее часть — «О петербургской погоде».

География

Саватюгин Л.М., Преображенская М.А. ПОЛЮС ХОЛОДА / Под ред. И.Е.Фролова и В.Я.Липенкова. СПб.: ААНИИ, 2008. 450 с.

В книге, вышедшей в серии «Полярная библиотека», сотрудники Арктического и Антарктического научно-исследовательского института Рос-

комгидромета рассказывают об антарктической полярной станции Восток, единственной российской внутриконтинентальной станции на полюсе холода, более 50 лет работающей в труднейших условиях высокогорья Центральной Антарктиды. Станция названа в честь шлюпа «Восток» Первой российской антарктической экспедиции 1819—1821 гг. под командованием Ф.Ф.Белинсгаузена и М.П.Лазарева.

Из многочисленных отчетов и статей, за полвека написанных участниками экспедиций, работавшими на станции, отобрано то главное, что характеризует ее как одно из экстремальных мест нашей планеты и форпост отечественной науки. В первой части книги приведены общегеографические сведения о ледяном континенте и, в частности, о районе станции Восток, истории ее создания и развития. Немало внимания уделено тому, что ныне называют логистикой, — сложным операциям по снабжению, работе транспорта и аэродромной техники, радиостанции и дизель-электростанции, а также международному характеру исследований.

Вторая часть книги посвящена итогам научных наблюдений и крупным открытиям, которые были здесь сделаны. Подробно описаны вехи последовательного приближения к поверхности подледникового оз. Восток, бурение сверхглубоких скважин и результаты анализа ледяного керна длиной 3623 м.

Книга богата иллюстрирована фотографиями и рисунками. Она будет интересна не только специалистам, но и широкому кругу читателей.

Рождение номографии

А.В.Кузьмин,

кандидат физико-математических наук

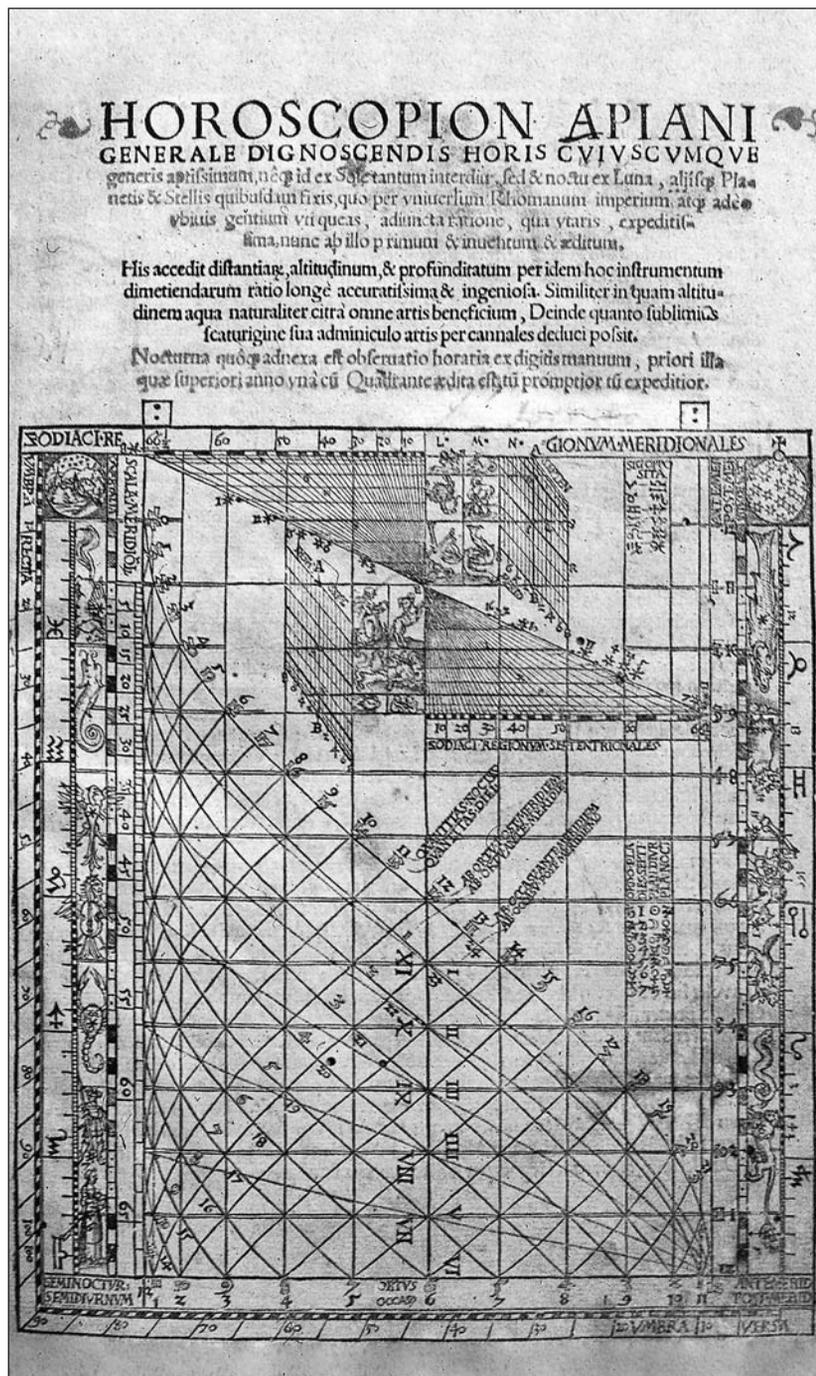
Институт истории естествознания и техники им.С.И.Вавилова РАН
Москва

Во всяких сомнениях, первые номографические шкалы появились еще в античности. Например, в разделе 8 Книги II «Альмагеста» К.Птолемея (II в.) приводится таблица подекадного времени восхода эклиптики на 11 эталонных широтах, в которой выражена нелинейная зависимость скорости восхода различных участков эклиптики от широты географического пункта наблюдений [1].

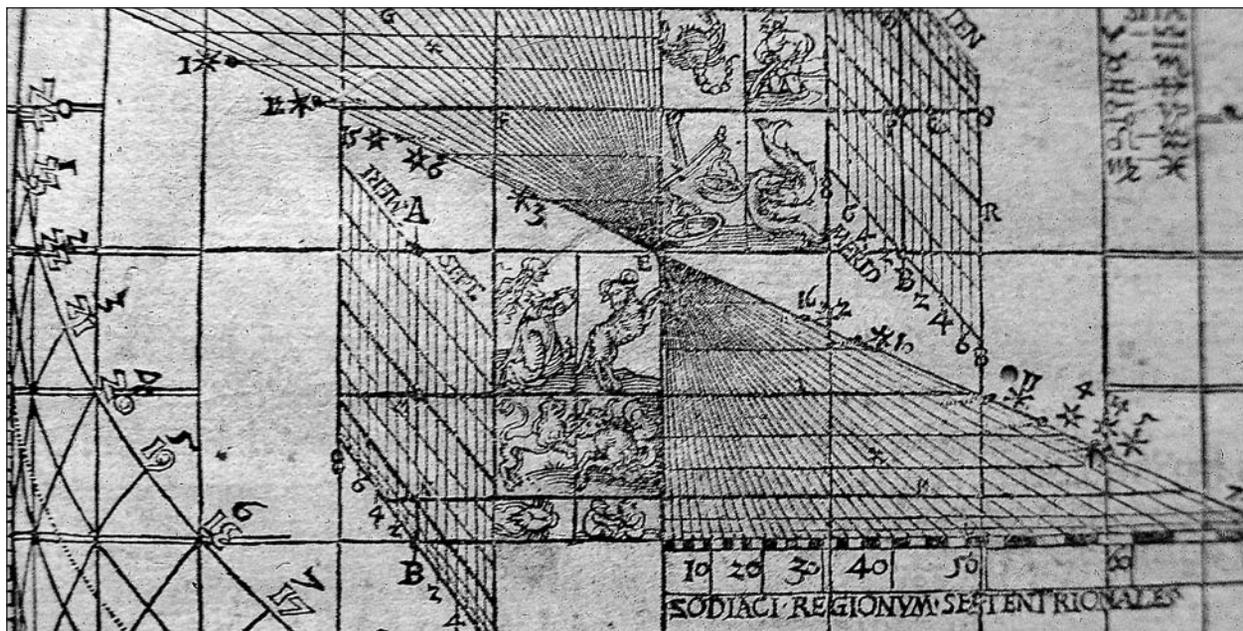
Эта математическая зависимость на протяжении 14 столетий использовалась для построения систем астрологических домов. Они представляют собой неравномерные круговые шкалы (в отличие от равномерной, линейной, шкалы 12 тридцатиградусных знаков зодиакальной шкалы эклиптики), величина каждого из двенадцати секторов которых количественно отражает динамику эклиптики в определенное время и в определенном географическом месте. Считалось, что возможно символически описать земное проявление явлений небесной сферы, построив «временную (хрональную) топоцентрическую вариацию эклиптического круга».

Первое печатное издание таблиц домов осуществил Региомонтан (1436–1476)*. Свою собственную систему, созданную на основе изучения трудов Птолемея, он начал публиковать в 1474 г. (ста сорока годами ранее первого издания таблиц других неравномерных

* Региомонтан (Regiomontanus) Кёнигсбергский (настоящее имя Иоганн Мюллер) — немецкий астроном и математик. Автор первых печатных таблиц.



Заглавная номографическая гравюра «HOROSCOPION APIANI» (1539).



Фрагмент.

шкал — логарифмов, причем одним из основных применений последних сразу после их изобретения было именно создание точных таблиц астрологических домов). Первое печатное издание комплекса неравномерных круговых шкал Региомонтана представляло их в табличной форме с использованием эклиптической системы небесных координат [2].

Итак, впервые неравномерные шкалы, ставшие впоследствии основой номографического метода в математике, известны со времени поздней античности. Один из наборов таких шкал включает уже упомянутый «Альмагест» Птолемея. По сути дела они представляют количественное описание особенностей движений Земли.

В XVI в. этот математический метод стал одним из наиболее распространенных прикладных способов пространственно-временных измерений, и один из ярких примеров его реализации — заглавная гравюра издания «HOROSCOPION APIANI» (1539) профессора астрономии и математики Венского университета П.Апиана (1495—1552) [3].

Графическое воплощение, сочетающее в единой таблице сразу несколько номограмм, служащих для определения всевозможных поправок значений логарифмических функций, представляет собой своеобразную двухмерную логарифмическую линейку (набор номографических шкал), где кроме самих линий и цифровых значений

присутствуют образные изображения. Это облегчало совершение определенных действий (такой способ — использование миниатюрных изображений — чрезвычайно распространен в наше время в компьютерных системах).

Эстетический уровень исполнения чрезвычайно высок. Композиция представляет поражающий взгляд сюрреалистический коллаж, который есть не что иное, как графическое воплощение геоцентрической пространственно-временной динамики, или, иначе говоря, выражает совокупность движений небесной сферы, в свою очередь, отражающую сложное, многофакторное движение самой Земли в космическом пространстве. ■

Литература

1. Птолемей К. Альмагест / Пер. И.Н.Веселовского. М., 1998.
2. Белый Ю.А. Иоганн Мюллер (Региомонтан). 1436—1476. М., 1985.
3. Apianus Petrus. HOROSCOPION APIANI... 1539.

Тематический указатель за 2009 год

ФИЛОСОФИЯ И ИСТОРИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ НАУКИ

ВЕХИ ЖИЗНИ И ТВОРЧЕСТВА

К 100-летию со дня рождения А.А.Малиновского 8 65
«Он человек был, человек во всем».

Клебанер В.С. 8 66

Научный наставник. **Богданов Н.Н.** 8 75

Дарвин и Уоллес: парадоксы соавторства и несогласия. **Голубовский М.Д.** 3 13

Еще раз о Дарвине. **Макаров К.В.** 9 68

История отечественной двухступенчатой водородной бомбы и научная этика.

Гончаров Г.А. 4 36

5 48

К 175-ЛЕТИЮ

ДМИТРИЯ ИВАНОВИЧА МЕНДЕЛЕЕВА

Гениями рождаются. **Лунин В.В.** 1 4

Памяти Д.И.Менделеева. **Вальден П.И.** 1 6

Диалог с эпохой. Хроника: 1834–1907.

Дмитриев И.С. 1 10

Достойный, но не удостоенный. **Блох А.М.** 1 28

Ритмы материи и Периодический закон

Д.И.Менделеева. **Щеголев В.А.** 1 32

Российское химическое общество. **Русанов А.И.** 1 44

На пользу русской промышленности.

Лобас Е.В., Савченко М.М. 1 52

Во главе Палаты мер и весов. **Гинак Е.Б.** 1 62

Предмет, достойный времени и России.

Д.И.Менделеев и Русская Арктика.

Зубрева М.Ю., Свердлов Л.М. 1 67

«Генотип плюс биография». **Серова Л.В.** 1 74

Боблово Менделеевское. **Потресов В.А.** 1 85

Перед картиною А.И.Кунджди. **Менделеев Д.** 1 92

Перед статьей Менделеева. **Заггейм А.Ю.** 1 93

Жизнь как фотокомпозиция. **Никитин В.А.** 1 95

Портрет на фоне эпохи (рецензия на кн.:

Michael D.Gordin. Dmitrii Mendeleev

and the Shadow of the Periodic Table).

Чудов С.В. 1 104

Герой мифов и легенд. **Дмитриев И.С.** 1 110

ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 2008 ГОДА

По физике — Й.Намбу, М.Кобаяши, Т.Маскава.

Комар А.А., Герштейн С.С. 1 118

По химии — О.Симомура, М.Чалфи, Р.Цянь.

Чудов С.В. 1 123

По физиологии или медицине — Х.дур Хаузен,

Ф.Барре-Санусси и Л.Монтанье.

Киселев Ф.Л., Карамов Э.В. 1 124

Лауреаты премии «Триумф» 2008 года в области науки*. **Короткевич Г.В.** 4 67

Знаком* отмечены материалы, опубликованные в разделе «Новости науки».

Международный год астрономии — 2009.

Сурдин В.Г. 12 3

Нанотехнологии — в жизнь* 12 81

Николай Вавилов и Сталин. Неизвестная

встреча 15 марта 1929 года. **Рокитянский Я.Г.** 12 53

Перечитывая «Происхождение видов».

Бородин П.М. 3 4

Письма Дарвина Лайелю и Гукеру после

получения статьи Уоллеса¹ 3 20

ПРАКТИК И МЕЧТАТЕЛЬ

К 100-летию со дня рождения Л.А.Арцимовича² 2 3

Уроки Арцимовича глазами бывшего аспиранта.

Мирнов С.В. 2 5

Как построили Большой телескоп.

Минин В.А., Ефремов Ю.Н., Балсга Ю.Ю. 2 18

Род Арцимовичей. **Взоров Н.Н.** 2 25

Неслучайные совпадения. **Халатников И.М.** 2 32

Заповеди Арцимовича. Несколько советов,

любимых выражений и афоризмов 2 35

Результаты конкурса научно-популярных статей

Sic transit gloria mundi* 2 36

8 81

Сны о науке: жизнь Чарлза Дарвина

в русском воображении. **Зубарева О.А.** 3 88

Трижды предсказанный архипелаг.

Дорожкина М.В., Саватюгин Л.М. 8 57

Упрямый Галилей. **Дмитриев И.С.** 10 64

Что такое «Бюраканская концепция». **Ефремов Ю.Н.** 4 3

АСТРОНОМИЯ. АСТРОФИЗИКА. КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Астрофизическая обсерватория

«Спектр-Рентген-Гамма»* 10 81

Внеземная аминокислота найдена в кометной пыли* 10 82

Галактики формируются и сейчас?* 10 81

Где родилось Солнце?* 2 78

Две черные дыры вот-вот сольются* 7 76

Загадка рентгеновского «хребта» Галактики.

Ревнивцев М.Г. 12 11

И вдруг погасли две звезды...* 9 85

Исследование солнечных нейтрино в эксперименте

«Борексинао»*. **Скорухватов М.Д., Литвинович Е.А.** 2 77

Международный год астрономии — 2009.

Сурдин В.Г. 12 3

Новые прямые снимки планет*. **Вибе Д.З.** 8 79

Открытие планеты астрометрическим методом* 8 79

Переопределены параметры вращения

нашей Галактики* 5 82

Почему кометы грязные?* 8 81

Раскрыта загадка рентгеновского

излучения Галактики* 7 75

¹ Перевод М.Д.Голубовского.

² Вступление В.А.Минина.

Рентгеновская инвентаризация Галактики и окрестностей. Ревнивцев М.Г.	8	3	Экстраординарная прочность нанотрубок подтверждена*	9	88
Сверхновая в галактике M82*	9	86	Электричество под микроскопом.		
Свершения и планы радиоастрономии*. Вибе Д.З.	5	82	Толстихина А.Л., Сорокина К.Л., Белугина Н.В., Гайнутдинов Р.В.	4	18
Спиральные рукава туманности Андромеды. Ефремов Ю.Н.	10	3	ХИМИЯ		
Стартовал к Луне и начал работать российский нейтронный детектор ЛЕНД*	9	85	Бумага из нанотрубок методом прокатки*	9	88
Телескоп «Кеплер»: первые результаты космической миссии*. Ашимбаева Н.Т.	11	80	«Колонный зал» для водорода*	10	83
Темная энергия «расталкивает» вещество*	5	81	Опущение из нанотрубок упрочняет композиты*	9	88
У галактик есть нижний предел массы*	4	68	Организованные среды — мир жидких наносистем.		
«Herschel» расширит границы познания Вселенной*	6	69	Штыков С.Н.	7	12
Что такое «Бюраканская концепция». Ефремов Ю.Н.	4	3	Получение графенов в макроскопических количествах*	5	84
Ярче ста тысяч солнц. Клочкова В.Г.	11	12	Твердое пламя и лазер: синтез объемной керамики. Шишковский И.В., Кузнецов М.В., Морозов Ю.Г.	12	44
ПЛАНЕТОЛОГИЯ. МЕТЕОРИТИКА. ФИЗИКА И ХИМИЯ АТМОСФЕРЫ. КОСМОХИМИЯ			Технологичный графен*	7	77
Каменное ядро с ледяной коркой в центре Юпитера*	4	68	Фуллерены в нанотрубке*	4	69
Метановые ливни на Титане*	7	76	Фуллерены упрочняют сталь*	10	82
Наблюдения атмосферы Плутона на VLT*	6	70	БИОЛОГИЯ		
О происхождении астероидов Главного пояса*. Вибе Д.З.	11	81	Вирусы: корневая система древа жизни? Агол В.И.	9	3
ФИЗИКА. ТЕХНИКА. ЭНЕРГЕТИКА			Жизнь стрекоз глазами орнитолога. Панов Е.Н., Павлова Е.Ю.	11	28
Визуализация динамики атомов и молекул на графене*	5	83	Иммунная система, стресс и видообразование — звенья одной цепи? Куликов А.М., Марков А.В.	10	11
Джон Бардин и безмедные ВТСП*	2	78	Лесной форпост в сухих степях. Неронов В.В.	9	50
Измерение механических характеристик графенового слоя*	6	71	Микромир живой клетки. Киселева Е.В.	8	14
Изображение углеродных нанотрубок с атомным разрешением*	11	82	Социальное обучение у животных. Резникова Ж.И.	5	3
Как взвесить фотон*	8	81	Улар — птица высокогорная. Булавинцев В.И.	11	77
Как вырастить нанопроволоку? Зотов А.В., Саранин А.А., Грузнев Д.В., Цуканов Д.А.	6	26	БОТАНИКА. ЗООЛОГИЯ. МИКРОБИОЛОГИЯ		
Квантовый фазовый переход в молекуле C ₆₀ *	2	80	Зачем нужны самцы разной окраски?*	2	81
Магнитная запись с помощью электрического поля*	9	87	Изучая хвосты змей...*	9	89
На пути от оптического лазера к атомному. Трифонов Е.Д., Аветисян Ю.А.	9	21	Индивидуальные участки пресноводных черепах*.		
Нанолазеры*	5	83	Семенов Д.В.	10	84
Нанотехнологии — в жизнь*	12	81	Копытень и людорфия. Москалюк Т.А., Кирпичникова В.А.	5	59
Нанотрубки взвешивают отдельные атомы*	7	76	Кто такие форониды? Темерева Е.Н., Малахов В.В.	12	29
Опущение из нанотрубок упрочняет композиты*	9	88	Однополюе ящерицы: экология и поведение. Галоян Э.А.	9	29
Получение графенов в макроскопических количествах*	5	84	Омброфилы — обитатели равнин. Заварзин Г.А.	6	3
Сверхпроводимость на службе у ОТО*	12	82	Полезные микробы — кто они? Суворов А.Н.	7	21
Сверхпроводимость силана SiH ₄ *	5	84	Революция в зоологии: новая система билатерий. Малахов В.В.	3	40
Сверхпроводящие наноканалы выше комнатной температуры. Митин А.В.	7	31	Совки-вампиры. Кононенко В.С., Заспел Д.М.	2	72
Сила алмаза — в дефектах*	11	82	Феномен бабочки в эволюции. Сураков А.А.	3	76
Скачущие наночастицы*	6	71	Что видят брюхоногие моллюски? Шепелева И.П.	8	48
Солнечные нейтрино и международный проект «Борексино». Скорохватов М.Д.	5	13	Эволюционная «гонка вооружений» у немертин. Чернышев А.В.	3	55
СТМ-литография нанолент из графена*	4	69	Эти удивительные менемерусы*. Михайлов К.Г.	4	70
Технологичный графен*	7	77	Ящерица-«эфемер»*. Семенов Д.В.	8	82
Топологический квантовый компьютер*	2	80	Ящерицы и муравьи*. Семенов Д.В.	5	85
Трение на наноуровне. Волокитин А.И.	8	26	ГЕНЕТИКА. МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ. БИОХИМИЯ. БИОФИЗИКА. БИОТЕХНОЛОГИЯ		
Фуллерены в нанотрубке*	4	69	Белковый «червячный» клей для лечения переломов*	10	83
Четверть электрона*	2	79	Видообразование через отдаленную гибридизацию. Першина Л.А.	3	70

Геномика вирусов: новый подход и старая модель. Нефедова Л.Н., Ким А.И.	8	22
Многоликий радикал, или Новое в науке об аэроионах. Гольдштейн Н.И., Гольдштейн Р.Н.	4	28
Одиссея мужской хромосомы. Животовский Л.А., Имашева А.Г.	2	48
Почему токсичен гомоцистеин? Болдырев А.А.	10	18
Редукция генома у миног*. Чудов С.В.	11	83
Стресс, психическое здоровье и гены. Голымбет В.Е.	2	66
Такие нужные слезы*	4	69
Углеродные нанотрубки против бактерий*	11	83
Фермент гликолиза из сперматозоидов*	2	80
Эволюция бактериальных геномов: потери и приобретения. Смирнов Г.Б.	3	63

ФИЗИОЛОГИЯ. ПСИХОЛОГИЯ. МЕДИЦИНА. ДЕМОГРАФИЯ. СОЦИОЛОГИЯ

Обучение и сон. Ковальзон В.М.	7	3
Стресс, психическое здоровье и гены. Голымбет В.Е.	2	66
Эндокитоз в нервной системе.		
Зефилов А.Л., Петров А.М.	9	12

ЭКОЛОГИЯ. ОХРАНА ПРИРОДЫ. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Бакланы на Байкале*. Уфимцев Г.Ф., Русинек О.Т.	6	71
Белые пятна Новой Земли. Булавинцев В.И., Калякин В.Н., Хахин В.И.	5	66
Звери подземелья. Попов И.Ю., Ковалев Д.Н., Островский А.Н.	9	59
Зоохория кувшинки белой*. Семенов Д.В.	4	71
Из света в тьму или наоборот? Маргынова Д.М., Гордеева А.В.	10	24
К чему ведет сокращение пахотных земель. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О.	11	20
Метаногенез и глобальные климатические процессы. Лыков И.Н., Сафронова С.А., Морозенко М.И., Ефремов Г.В.	8	40
На водосборе реки Черек-Безенгийский. Атабиева Ф.А., Газаев М.А., Жинжакова Л.З.	10	39
Нефтяное загрязнение на Керченском полуострове. Кудрик И.Д.	11	72

ГЕОЛОГИЯ. ГЕОТЕКТОНИКА

Благородные и цветные металлы в железомарганцевых корках Охотского моря*	12	82
Вэньчуанское землетрясение в мае 2008 г. в Китае ¹ . Ма Цзинь	5	39
Геометрия помогает геологии. К 250-летию Государственного геологического музея им.В.И.Вернадского РАН. Мирлин Е.Г.	9	37
Геомифология — новое направление в науке. Хайн В.Е., Короновский Н.В.	4	9
Кала-Кулак — овраг «замков». Короновский Н.В., Мышенкова М.С.	8	54
Каменные кружева Горного Крыма. Комаров В.Н.	12	69
Катастрофические провалы на горных массивах*	5	86
Роль трещиноватости пород в эволюции земной коры*	4	71

¹ Вступление и перевод А.А.Никонова.

СЕЙСМИЧЕСКОЕ СОБЫТИЕ НА ЮГЕ БАЙКАЛА	7	56
Култукское землетрясение ²	7	56
Байкал предупреждал о приближении землетрясения. Семенов Р.М., Смекалин О.П., Оргильянов А.И.	7	64
Сложная жизнь древнейшей россыпи. Портнов А.М.	12	39
Современные движения Горного Алтая*	7	77
Спираль в углях и битумах. Колокольцев В.Г., Кудаманов А.И., Скачек К.Г., Волкова И.Б.	10	31
Стратегический ресурс водоснабжения. Каримова О.А., Зекцер И.С.	8	35
Тектонические нарушения в створе плотины Иркутской ГЭС*	8	83
Хаитская катастрофа. Взгляд через 60 лет. Никонов А.А.	11	38

ГЕОХИМИЯ. МИНЕРАЛОГИЯ. КРИСТАЛЛОХИМИЯ

Антимиры. Расцветаева Р.К.	4	46
От эвдиалитов к мегаэвдиалитам. Расцветаева Р.К.	2	38
Сложная жизнь древнейшей россыпи. Портнов А.М.	12	39

ГЕОФИЗИКА

«Адская» эра Земли была не так уж плоха для жизни*	8	82
Ледовый покров Байкала как модель для анализа деформаций в литосфере*	2	82
Мантийная конвекция вызывает напряжения на подошве литосферы*	2	82

СЕЙСМОЛОГИЯ. ВУЛКАНОЛОГИЯ

Вэньчуанское землетрясение в мае 2008 г. в Китае ¹ . Ма Цзинь	5	39
Землетрясение в Киргизии*. Никонов А.А.	4	73
Подводный вулкан на суше*	7	78
Предвестники нестабильного смещения разлома*	5	86
СЕЙСМИЧЕСКОЕ СОБЫТИЕ НА ЮГЕ БАЙКАЛА	7	56
Култукское землетрясение	7	56
Байкал предупреждал о приближении землетрясения. Семенов Р.М., Смекалин О.П., Оргильянов А.И.	7	64
Скалы Валаама через века и тысячелетия. Никонов А.А.	2	56
Хаитская катастрофа. Взгляд через 60 лет. Никонов А.А.	11	38

ГЕОГРАФИЯ. КЛИМАТОЛОГИЯ. МЕТЕОРОЛОГИЯ. ГЛЯЦИОЛОГИЯ

Африканские ландшафты Испании. Чичагов В.П.	6	15
В поисках овцебыка. Сарана В.А.	4	53
Диоксид углерода в атмосфере раннего плейстоцена*	12	78
Изотопное фракционирование дейтерия в тропосфере*	12	79
Климат Арктики за последние 2000 лет*	12	80
Климатическая модель: инструмент или игрушка? Кароль И.Л., Киселев А.А.	5	25

² В сборе данных и подготовке статьи принимали участие К.Г.Леви, Л.П.Бержинская, Ю.А.Бержинский, Н.А.Гилева, В.С.Имаев, А.В.Лухнев, О.К.Масальский, В.И.Мельникова, А.П.Ордынская, Н.А.Радзиминович, Я.Б.Радзиминович, В.В.Ружич, В.А.Саньков, О.П.Смекалин, Е.Н.Черных, В.А.Чечельницкий.

Лесной форпост в сухих степях. Неронов В.В.	9	50	Раны Старой Рязани. Чернецов А.В.	12	71
Мамонтов сгубила комета?*	12	81	Склад янтаря-сырца в древнем Владимире.		
Моделирование климата раннего плиоцена*	9	90	Зеленцова О.В., Кузина И.Н., Милованов С.И.	8	45
На водосборе реки Черек-Безенгийский.			Спасательная археология Москвы*	8	85
Атабиева Ф.А., Газаев М.А., Жинжакова Л.З.	10	39	Таш-Рабат — караван-сарай или замок?		
Палеоклимат: дополнения к теории Миланковича.			Худяков Ю.С.	6	55
Бялко А.В.	12	18	Терезин — новый гунно-сарматский		
По следам Земли Санникова. Гуков А.Ю.	10	51	памятник в Туве*	4	74
Пресноводный папоротник изменил климат*.			Уникальное древнекаменное орудие		
Чудов С.В.	7	79	из Северной Армении. Беляева Е.В.	4	63
Сдвиг западных ветров*	8	84	Усадьба эпохи Ярослава Мудрого		
Современная экосистема морского льда в Арктике*	6	72	на Верхней Клязьме*. Чернов С.З.	11	84
Социальное развитие России на карте мира.			Эпоха олдована открыта на острове Сокотра.		
Клюев Н.Н.	6	40	Амирханов Х.А., Жуков В.А., Наумкин В.В.,		
Тают ледниковые щиты Антарктиды и Гренландии*	12	80	Седов А.В.	7	68
Теплые поймы холодных рек. Михайлов В.М.	5	32			
Трижды предсказанный архипелаг.			АПРЕЛЬСКИЙ ФАКУЛЬТАТИВ		
Дорожкина М.В., Саватюгин Л.М.	8	57	Антимиры. Расцветаева Р.К.	4	46
ОКЕАНОЛОГИЯ			БИОГРАФИЯ СОВРЕМЕННОГО		
Землетрясения и цунами на Курилах —			Кто первым нажал советскую «атомную кнопку»?		
оправдавшийся прогноз*	10	85	По воспоминаниям Сергея Львовича Давыдова.		
«Миры» на Байкале*. Сагалевич А.М.	12	77	Дровеников И.С.	9	74
Отклик первичной продукции моря			Необычайно одаренная личность. Голубовский М.Д.	5	72
на потепление климата*	4	72	Непотопляемый: жизнь Евгения Михайловича Крепса.		
Пелагическая экосистема у побережья			Островский А.Н.	12	59
Западной Африки*	8	82	Энтомолог И.М.Кержнер.		
Спутниковые методы в исследовании			Стрелков П.П., Кузнецова В.Г.	6	58
Атлантического океана. Клювиткин А.А.,					
Буренков В.И., Шеберстов С.В.	6	35			
			В КОНЦЕ НОМЕРА		
ПАЛЕОНТОЛОГИЯ. ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ.			Анекдот о таблице Менделеева. Атовмян Е.Г.	4	79
ПАЛЕОКЛИМАТОЛОГИЯ			Была ли нефть в архее? Медведев С.А.	9	95
Вечно неживые. Журавлев А.Ю.	11	3	Женюсь, женюсь...	3	93
Дарвинизм и палеоботаника: факты и гипотезы.			Рождение номографии. Кузьмин А.В.	12	88
Наугольных С.В.	3	30	Старая сказка об атлантах. Журавлев А.Ю.	6	79
Из полевого рюкзака. Наугольных С.В.	10	45			
Недостающее звено между динозаврами и птицами?*	10	85	ВЕСТИ ИЗ ЭКСПЕДИЦИЙ		
Ранние антропоиды были родом из Азии?*	11	84	Белые пятна Новой Земли.		
Тени зарытых предков. Журавлев А.Ю.	3	22	Булавицев В.И., Калякин В.Н., Хахин В.И.	5	66
			В поисках овцебыка. Сарана В.А.	4	53
АРХЕОЛОГИЯ. АНТРОПОЛОГИЯ. ЭТНОГРАФИЯ			Звери подземелья. Попов И.Ю., Ковалев Д.Н.,		
Владимировка — древнейший медный рудник Алтая.			Островский А.Н.	9	59
Малолетко А.М.	5	56	Из полевого рюкзака. Наугольных С.В.	10	45
Древнейшие пищевые традиции европейцев.			По следам Земли Санникова. Гуков А.Ю.	10	51
Добровольская М.В.	11	51	Улар — птица высокогорная. Булавицев В.И.	11	77
Комплексы костей животных			Уникальное древнекаменное орудие		
в погребениях сарматов*	6	74	из Северной Армении. Беляева Е.В.	4	63
Костные остатки животных из Мангазеи*	9	91	Эпоха олдована открыта на острове Сокотра.		
Ногтевые отпечатки на керамике указывают			Амирханов Х.А., Жуков В.А., Наумкин В.В.,		
пол гончара*	10	86	Седов А.В.	7	68
Окультивирование риса в Китае*	6	73			
Палеолитическая живопись Каповой пещеры:			ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ		
полвека после открытия. Ляхницкий Ю.С.	7	42	«БЫВАЮТ СТРАННЫЕ СБЛИЖЕНИЯ...»	7	85
Повторное открытие ископаемого <i>Ното</i>			Подходит крейсер — неизвестно какой.		
из Хвалынска*. Короткевич Г.В.	2	83	Из фотографической семейной хроники.		
Погребальный обряд как этноисторический			Стечкин Б.С.	7	85
источник*	5	87	Лаборатория профессора Резерфорда		
«Разыскание древностей посредством			(письмо из Манчестера). Шилов Н.А.	7	92
земляных раскопок»*	7	80	Е.Е.Барбот де Марни и первая в России		
			геологическая карта. Бурштейн Е.Ф.	2	90

К.Э.Циолковский — Д.И.Менделееву.

- Авдеев Я.Г., Савиткин Н.И., Толкачева Т.К.** 11 93
Нобелевские коллизии 70-летней давности.
Блох А.М. 8 93
Открытие кианга. **Паклина Н.В., Орден К.ван** 10 91
Четыреста лет «Звездной вести». **Кузьмин А.В.** 5 94

ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

- О притоке умов и утечке мозгов. **Рязанцев С.В.** 6 48

ЗАМЕТКИ И НАБЛЮДЕНИЯ

- Владимировка — древнейший медный рудник Алтая.
Малолетко А.М. 5 56
Кала-Кулак — овраг «замков».
Короновский Н.В., Мышенкова М.С. 8 54
Каменные кружева Горного Крыма.
Комаров В.Н. 12 69
Таш-Рабат — караван-сарай или замок?
Худяков Ю.С. 6 55

КРАСНАЯ КНИГА

- Копытень и людорфия.
Москалюк Т.А., Кирпичникова В.А. 5 59

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

- Нефтяное загрязнение на Керченском полуострове.
Кудрик И.Д. 11 72
Склад янтаря-сырца в древнем Владимире.
Зеленцова О.В., Кузина И.Н., Милованов С.И. 8 45
Совки-вампиры. **Кононенко В.С., Заспел Д.М.** 2 72
Что видят брюхоногие моллюски? **Шепелева И.П.** 8 48

НАСЛЕДИЕ

- «Ты была лучшей из всех, кого я видел...».
Письма Н.И.Вавилова¹ 11 58

НОВЫЕ КНИГИ

2 89; 4 78; 5 92; 6 78; 7 83; 8 91; 9 93; 10 90; 11 92; 12 87

РЕЗОНАНС

- Еще раз о Дарвине. **Макаров К.В.** 9 68
Еще раз о медведях и фотографах. **Кречмар А.В.** 10 57

¹ Публикация М.А.Вишняковой и Ю.Н.Вавилова.

РЕЦЕНЗИИ

- Астрономия и астрофизика для профессионалов и любителей (на книги: Небо и телескоп; Солнечная система / Ред.-сост. В.Г.Сурдин).
Тоточава А.Г. 2 84
Биография теории Дарвина (на кн.: Галл Я.М. Формирование эволюционной теории Чарльза Дарвина). **Голубовский М.Д.** 3 86
Биография ученого как пример жития (на кн.: Hinshaw R.E. Living with Nature's Extremes. The Life of Gilbert Fowler White). **Горшков С.П.** 6 75
Гимн профессии (на кн.: Флоренский П.В. «Петрограф» на всю жизнь. К 70-летию научного студенческого кружка). **Волков В.П.** 5 89
Гляциологические мотивы (на кн.: Супруненко Ю.П. Сверкающий мир снега и льда. Занимательная гляциология).
Зингер Е.М. 9 92
Книга в книге о великом микробиологе (на кн.: Заварзин Г.А. Три жизни великого микробиолога: Документальная повесть о Сергее Николаевиче Виноградском).
Гиляров А.М. 8 87
«Одна из славных русских женщин» (на кн.: Валькова О.А. Ольга Александровна Федченко. 1845—1921). **Белозеров О.П.** 10 87
Он между нами жил... (на кн.: Яков Борисович Зельдович (воспоминания, письма, документы). **Пономарев Л.И.** 4 75
Открывший мир, в Европе неизвестный (на кн.: Сумашедов Б.В. Распятый в дебрях. Владимир Арсеньев. Судьба странника).
Зубрева М.Ю. 7 81
Портрет на фоне эпохи (на кн.: Gordin M.D. Dmitrii Mendeleev and the Shadow of the Periodic Table). **Чудов С.В.** 1 104
Почти все о звездах (на кн.: Звезды / Ред.-сост. В.Г.Сурдин). **Тоточава А.Г.** 11 87
Репортаж из-под завалов: век спустя (на кн.: Tchakhotine S. Sotto le Macerie di Messina. Racconto di un Sopravvissuto al Terremoto del 1908 (Чохотин С. Под развалинами Мессины. Рассказ заживо погребенного в землетрясении 1908 года). **Никонов А.А.** 12 84

Авторский указатель за 2009 год

- | | | | | |
|---|----------------------------------|-------|--------------------------------|-------|
| Авдеев Я.Г. | Атовмян Е.Г. | 4 79 | Блох А.М. | 1 28 |
| (Савиткин Н.И., Толкачева Т.К.*) 11 93 | Ашимбаева Н.Т. | 11 80 | | 8 93 |
| Аветисян Ю.А. (Трифонов Е.Д.) 9 21 | | | Богданов Н.Н. | 8 75 |
| Агол В.И. | Балега Ю.Ю. | | Болдырев А.А. | 10 18 |
| Амирханов Х.А. (Жуков В.А., | (Минин В.А., Ефремов Ю.Н.) | 2 18 | Бородин П.М. | 3 4 |
| Наумкин В.В., Седов А.В.) 7 68 | Белозеров О.П. | 10 87 | Булавинцев В.И. | 11 77 |
| Атабиева Ф.А. | Белугина Н.В. | | Булавинцев В.И. | |
| (Газаев М.А., Жинжакова Л.З.) 10 39 | (Толстихина А.Л., Сорокина К.Л., | | (Калякин В.Н., Хахин В.И.) | 5 66 |
| * Здесь и далее в скобках указаны соавторы. | Гайнутдинов Р.В.) | 4 18 | Буренков В.И. (Клювиткин А.А., | |
| | Беляева Е.В. | 4 63 | Шеберстов С.В.) | 6 35 |

Бурштейн Е.Ф.	2	90	Заварзин Г.А.	6	3	Литвинович Е.А.		
Бялко А.В.	12	18	Закгейм А.Ю.	1	93	(Скорохватов М.Д.)	2	77
Вальден П.И.	1	6	Заспел Д.М. (Кононенко В.С.)	2	72	Лобас Е.В. (Савченко М.М.)	1	52
Взоров Н.Н.	2	25	Зекцер И.С. (Каримова О.А.)	8	35	Лопес де Гереню В.О.		
Вибе Д.З.	5	82	Зеленцова О.В.			(Курганова И.Н.)	11	20
	8	79	(Кузина И.Н., Милованов С.И.)	8	45	Лунин В.В.	1	4
	11	81	Зефилов А.Л. (Петров А.М.)	9	12	Лыков И.Н. (Сафронова С.А.,		
Волков В.П.	5	89	Зингер Е.М.	9	92	Морозенко М.И., Ефремов Г.В.)	8	40
Волкова И.Б. (Колокольцев В.Г.,			Зотов А.В. (Саранин А.А.,			Ляхницкий Ю.С.	7	42
Кудаманов А.И., Скачек К.Г.)	10	31	Грузнев Д.В., Цуканов Д.А.)	6	26	Ма Цзинь	5	39
Волокитин А.И.	8	26	Зубарева О.А.	3	88	Макаров К.В.	9	68
Газаев М.А. (Атабиева Ф.А.,			Зубрева М.Ю.	7	81	Малахов В.В.	3	40
Жинжакова Л.З.)	10	39	Зубрева М.Ю. (Свердлов Л.М.)	1	67	Малахов В.В. (Темерева Е.Н.)	12	29
Гайнутдинов Р.В. (Толстихина А.Л.,			Имашева А.Г. (Животовский Л.А.)	2	48	Малолетко А.М.	5	56
Сорокина К.Л., Белугина Н.В.)	4	18	Калякин В.Н.			Марков А.В. (Куликов А.М.)	10	11
Галоян Э.А.	9	29	(Булавицев В.И., Хахин В.И.)	5	66	Мартынова Д.М. (Гордеева А.В.)	10	24
Герштейн С.С. (Комар А.А.)	1	118	Карамов Э.В.	1	127	Медведев С.А.	9	95
Гиляров А.М.	8	87	Каримова О.А. (Зекцер И.С.)	8	35	Менделеев Д.	1	92
Гинак Е.Б.	1	62	Кароль И.Л. (Киселев А.А.)	5	25	Милованов С.И. (Зеленцова О.В.,		
Голимбет В.Е.	2	66	Ким А.И. (Нефедова Л.Н.)	8	22	Кузина И.Н.)	8	45
Голубовский М.Д.	3	13	Кирпичникова В.А.			Минин В.А.		
	3	86	(Москалюк Т.А.)	5	59	(Ефремов Ю.Н., Балегга Ю.Ю.)	2	18
	5	72	Киселев А.А. (Кароль И.Л.)	5	25	Мирлин Е.Г.	9	37
Гольдштейн Н.И.			Киселев Ф.Л.	1	124	Мирнов С.В.	2	5
(Гольдштейн Р.Н.)	4	28	Киселева Е.В.	8	14	Митин А.В.	7	31
Гольдштейн Р.Н.			Клебанер В.С.	8	66	Михайлов В.М.	5	32
(Гольдштейн Н.И.)	4	28	Клочкова В.Г.	11	12	Михайлов К.Г.	4	70
Гончаров Г.А.	4	36	Клювиткин А.А.			Морозенко М.И. (Лыков И.Н.,		
	5	48	(Буренков В.И., Шеберстов С.В.)	6	35	Сафронова С.А., Ефремов Г.В.)	8	40
Гордеева А.В. (Мартынова Д.М.)	10	24	Клюев Н.Н.	6	40	Морозов Ю.Г. (Шишковский И.В.,		
Горшков С.П.	6	75	Ковалев Д.Н.			Кузнецов М.В.)	12	44
Грузнев Д.В. (Зотов А.В.,			(Попов И.Ю., Островский А.Н.)	9	59	Москалюк Т.А.		
Саранин А.А., Цуканов Д.А.)	6	26	Ковальзон В.М.	7	3	(Кирпичникова В.А.)	5	59
Гуков А.Ю.	10	51	Колокольцев В.Г. (Кудаманов А.И.,			Мышенкова М.С.		
Дмитриев И.С.	1	10	Скачек К.Г., Волкова И.Б.)	10	31	(Короновский Н.В.)	8	54
	1	110	Комар А.А. (Герштейн С.С.)	1	118	Наугольных С.В.	3	30
	10	64	Комаров В.Н.	12	69		10	45
Добровольская М.В.	11	51	Кононенко В.С. (Заспел Д.М.)	2	72	Наумкин В.В. (Амирханов Х.А.,		
Дорожкина М.В.			Короновский Н.В.			Жуков В.А., Седов А.В.)	7	68
(Саватюгин Л.М.)	8	57	(Мышенкова М.С.)	8	54	Неронов В.В.	9	50
Дровеников И.С.	9	74	Короновский Н.В. (Хаин В.Е.)	4	9	Нефедова Л.Н. (Ким А.И.)	8	22
			Короткевич Г.В.	2	83	Никитин В.А.	1	95
			Кречмар А.В.	10	57	Никонов А.А.	2	56
Ефремов Г.В. (Лыков И.Н.,			Кудаманов А.И.				4	73
Сафронова С.А., Морозенко М.И.)	8	40	(Колокольцев В.Г., Скачек К.Г.,				11	38
Ефремов Ю.Н.	4	3	Волкова И.Б.)	10	31		12	84
	10	3	Кудрик И.Д.	11	72	Оргильянов А.И.		
Ефремов Ю.Н.			Кузина И.Н. (Зеленцова О.В.,			(Семенов Р.М., Смекалин О.П.)	7	64
(Минин В.А., Балегга Ю.Ю.)	2	18	Милованов С.И.)	8	45	Орден К.ван (Паклина Н.В.)	10	91
Животовский Л.А. (Имашева А.Г.)	2	48	Кузнецов М.В. (Шишковский И.В.,			Островский А.Н.	12	59
Жинжакова Л.З.			Морозов Ю.Г.)	12	44	Островский А.Н.		
(Атабиева Ф.А., Газаев М.А.)	10	39	Кузнецова В.Г. (Стрелков П.П.)	6	58	(Попов И.Ю., Ковалев Д.Н.)	9	59
Жуков В.А. (Амирханов Х.А.,			Кузьмин А.В.	5	94			
Наумкин В.В., Седов А.В.)	7	68				Павлова Е.Ю. (Панов Е.Н.)	11	28
Наумкин В.В., Седов А.В.)	7	68	Куликов А.М. (Марков А.В.)	10	11	Паклина Н.В. (Орден К.ван)	10	91
Журавлев А.Ю.	3	22	Курганова И.Н.			Панов Е.Н. (Павлова Е.Ю.)	11	28
	6	79	(Лопес де Гереню В.О.)	11	20	Першина Л.А.	3	70
	11	3						

Петров А.М. (Зефилов А.Л.)	9	12	Семенов Д.В.	2	81	Трифонов Е.Д. (Аветисян Ю.А.)	9	21
Пономарев Л.И.	4	75		4	71			
Попов И.Ю. (Ковалев Д.Н.,				5	85	Уфимцев Г.Ф. (Русинек О.Т.)	6	71
Островский А.Н.)	9	59		8	82			
Портнов А.М.	12	39		9	89	Хаин В.Е.		
Потресов В.А.	1	85		10	84	(Короновский Н.В.)	4	9
			Семенов Р.М. (Смекалин О.П.,			Халатников И.М.	2	32
Расцветаева Р.К.	2	38	Оргильянов А.И.)	7	64	Хахин В.И. (Булавинцев В.И.,		
	4	46	Серова Л.В.	1	74	Калякин В.Н.)	5	66
Ревнивец М.Г.	8	3	Скачек К.Г. (Колокольцев В.Г.,			Худяков Ю.С.	6	55
	12	11	Кудаманов А.И., Волкова И.Б.)	10	31			
Резникова Ж.И.	5	3	Скорохватов М.Д.	5	13	Цуканов Д.А. (Зотов А.В.,		
Рокитянский Я.Г.	12	53	Скорохватов М.Д.			Саранин А.А., Грузнев Д.В.)	6	26
Русанов А.И.	1	44	(Литвинович Е.А.)	2	77			
Русинек О.Т.			Смекалин О.П. (Семенов Р.М.,			Чернецов А.В.	12	71
(Уфимцев Г.Ф.)	6	71	Оргильянов А.И.)	7	64	Чернов С.З.	11	84
Рязанцев С.В.	6	48	Смирнов Г.Б.	3	63	Чернышев А.В.	3	55
			Сорокина К.Л. (Толстихина А.Л.,			Чичагов В.П.	6	15
Саватюгин Л.М.			Белугина Н.В., Гайнутдинов Р.В.)	4	18	Чудов С.В.	1	104
(Дорожкина М.В.)	8	57	Стечкин Б.С.	7	85		1	123
Савиткин Н.И.			Стрелков П.П. (Кузнецова В.Г.)	6	58		7	79
(Авдеев Я.Г., Толкачева Т.К.)	11	93	Суворов А.Н.	7	21		11	83
Савченко М.М. (Лобас Е.В.)	1	52	Сураков А.А.	3	76			
Сагалевич А.М.	12	77	Сурдин В.Г.	12	3	Шеберстов С.В.		
Сарана В.А.	4	53				(Клювиткин А.А., Буренков В.И.)	6	35
Саранин А.А. (Зотов А.В.,			Темерева Е.Н. (Малахов В.В.)	12	29	Шепелева И.П.	8	48
Грузнев Д.В., Цуканов Д.А.)	6	26	Толкачева Т.К. (Авдеев Я.Г.,			Шилов Н.А.	7	92
Сафронова С.А. (Лыков И.Н.,			Савиткин Н.И.)	11	93	Шिशковский И.В.		
Морозенко М.И., Ефремов Г.В.)	8	40	Толстихина А.Л. (Сорокина К.Л.,			(Кузнецов М.В., Морозов Ю.Г.)	12	44
Свердлов Л.М. (Зубрева М.Ю.)	1	67	Белугина Н.В., Гайнутдинов Р.В.)	4	18	Штыков С.Н.	7	12
Седов А.В. (Амирханов Х.А.,			Тоточава А.Г.	2	84			
Жуков В.А., Наумкин В.В.)	7	68		11	87	Щеголев В.А.	1	32

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
М.Ю.ЗУБРЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА

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 13.11.2009
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 851
Набрано и сверстано в редакции

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

При использовании материалов ссылка на журнал «ПРИРОДА» обязательна.