

# ПРИРОДА

7 10



**В НОМЕРЕ:****3 Черепашук А.М.****На пути к окончательному открытию черных дыр**

Со времени открытия первого кандидата в черные дыры — рентгеновского источника Лебедь X-1 — были обнаружены сотни объектов, по свойствам напоминающих черные дыры. Когда же закончится их «кандидатский срок»?

**15 Смагин А.В.****Городские почвы**

В городе состояние почв определяет не только качество зеленых насаждений, но и общую экологическую обстановку. Своевременная ресурсная оценка, проводимая с использованием современных технологий, позволяет выявлять почвенно-экологические проблемы и оперативно решать их.

**24 Матуль А.Г.****Глубоководное научное бурение в океане: структура, итоги, планы**

Полувековая история научного бурения океанского дна дала выдающиеся результаты в области глубинного строения и развития Земли, глобальных природных изменений. Новый проект глубоководного океанского бурения требует усиления международного сотрудничества и использования научного потенциала ведущих мировых держав, включая Россию.

**34 Макаров С.В.****Нитрит и нитрат — новый взгляд на малые молекулы**

Результаты исследований, выполненных в последние 10 лет, перевернули представления о месте и роли малых молекул в биохимии и физиологии человека. Среди таких молекул — NO, нитрит и нитрат, привлекающие все большее внимание химиков, биохимиков и медиков.

**38 Болдырев И.А., Молотковский Ю.Г.****Приключения флуоресцентных молекул в биологических мембранах**

Казалось бы, какой прок от знаний о поведении флуоресцентных молекул в биомембранах? Оказывается, польза есть, например, для получения новых материалов. Кто знает, может быть, когда-нибудь все материалы, а то и детали из них будут собираться самостоятельно, — только смешай нужные молекулы!

**42 Алексеев А.С., Горева Н.В., Кулагина Е.И., Пучков В.Н.****Каменноугольная система и ее «золотые гвозди»**

Как определить, какие породы образовались в определенный интервал времени в удаленных друг от друга древних морских бассейнах, и найти разновозрастные слои, накапливавшиеся в морях и на суше в один и тот же период времени?

**Научные сообщения****50 Тулохонов А.К.****Уровень Байкала из иллюминатора «Миров»****Залиханов М.Ч., Чилингаров А.Н.****Национальный атлас России (53)****Вести из экспедиций****60 Сарана В.А.****К истоку реки Лены****70 Блох Ю.И.****Крутые виражи Дмитрия Артемьева****О чем писала «Природа»****78 Тихов Г.А.****Пепельный свет Луны****Сурдин В.Г.****«Старая Луна в объятьях молодой» (81)****83****Новости науки**

Взрыв на белом карлике сверхвысокой массы. **Вибе Д.З.** (83). Выбрано место для строительства Экстремально большого телескопа (84). Сила трения в наномасштабе (84). Амфибии-рекордсмены (85). Растительность и климат бассейна озера Байкал в межледниковья (86). Фауна кембрийского типа в раннеордовиковских отложениях (87). Камень в жизни средневекового человека на Руси. **Панова Т.Д.** (87).

**Рецензии****89 Никонов А.А.****Тысячелетия на дне озер**

(на кн.: Д.А.Субетто. Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции)

**92****Новые книги****93 Жу Д.****Мозг: наука и искусство****В конце номера**

**CONTENTS:****3 Cherepashchuk A.M.****On the Road to Final Discovery of Black Holes**

*Since the discovery of the first candidate to black hole — a X-ray source Cygnus X-1 — hundreds of objects were found whose properties reminded black holes. When all these candidates will be recognized as true black holes?*

**15 Smagin A.V.****Urban Soils**

*In urban areas the condition of soils determines not only the quality of green plantations, but the ecologic situation in general. Timely resource evaluation conducted using modern technologies allows to uncover problems with soils and ecology and to solve them efficiently.*

**24 Matul A.G.****Deep-water Scientific Drilling in Ocean: Structure, Results, Plans**

*Half a century long history of drilling of ocean floor gave outstanding results in such fields as deep structure and planetary evolution of the Earth and global change of landscapes and biota. The new program of deep ocean drilling demands more close international cooperation and more intensive use of scientific potential of the leading world powers, including Russia.*

**34 Makarov S.V.****Nitrite and Nitrate: A New Way to Look at Small Molecules**

*The results of investigations carried out in the last 10 years, overturned ideas about the place and role of small molecules in biochemistry and human physiology. Among these molecules — NO, nitrite and nitrate, which attract increasing attention of chemists, biochemists and physicians.*

**38 Boldyrev I.A., Molotkovsky Yu.G.****Adventures of Fluorescent Molecules in Biologic Membranes**

*One can wonder what good of knowledge about behavior of fluorescent molecules in biologic membranes we can obtain? It turns out that it has its advantage, for example, in producing new materials. Who knows, may be, some day all materials or even details made from them will be self-assembling and require only mixing of right molecules!*

**42 Alekseev A.S., Goreva N.V., Kulagina E.I., Puchkov V.N.****Carboniferous System and its «Golden Nails»**

*How we can determine what rocks were formed during certain time interval at geographically distant ancient marine basins and find even-aged layers that were accumulating at seas and on land in the same time period?*

**Scientific Communications****50 Tulukhonov A.K.****Level of Baikal from «Mir» Bull's-Eye****Zalikhonov M.Ch., Chilingarov A.N.****National Atlas of Russia (53)****Notes from Expeditions****60 Sarana V.A.****To the Source of Lena River****70 Blokh Yu.I.****Steep Turns of Dmitry Artem'ev****What «Priroda» Wrote About****78 Tikhov G.A.****Ashen Light of the Moon****Surdin V.G.****«Old Moon in Embrace of Young» (81)****83****Science News**

Explosion at Super-Massive White Dwarf. **Wiebe D.Z.** (83). The Place to Build Extremely Large Telescope Is Chosen. (84). Force of Friction at Nanoscale (84). Amphibian Champions (85). Vegetation and Climate of Baikal Lake Basin in Interglacial Periods (86). Burgess Type Fauna in Early Ordovician Sediments (87). Stone in Life of Medieval Russian People. **Panova T.D.** (87).

**Book Reviews****89 Nikonov A.A.****Millennia at the Bottoms of Lakes**

(on book: D.A. Subetto. Bottom Sediment of Lakes: Paleolimnologic Reconstructions)

**92****New Books****In The End Of The Issue****93 Ghu D.****Brain: Science and Art**

# На пути к окончательному открытию черных дыр

Академик А.М.Черепашук

Прошло уже почти 40 лет с того момента, когда был открыт первый кандидат в черные дыры — знаменитый рентгеновский источник Лебедь X-1. С тех пор наука о черных дырах из теоретической стала наблюдательной. К настоящему времени открыты сотни массивных и чрезвычайно компактных объектов как в двойных звездных системах, так и в ядрах галактик, реальные свойства которых очень похожи на свойства черных дыр, предсказываемые общей теорией относительности (ОТО) А.Эйнштейна. Поэтому сейчас астрономы (разумеется, с некоторой натяжкой) называют эти объекты черными дырами (а не кандидатами в черные дыры, как это было принято, скажем, лет 20 тому назад).

## Почему не все так просто

Однако не следует забывать, что прогресс в открытии и исследовании как черных дыр с массами  $M \sim 4-20M_{\odot}$  ( $M_{\odot}$  — масса Солнца), так и сверхмассивных ( $M \sim 10^6-10^{10}M_{\odot}$ ) носит в основном лишь количественный характер. Окончательных доказательств того, что многочисленные и компактные объекты — действительно черные дыры, пока не получено, хотя, по очень точному высказыванию В.Л.Гинзбурга, новейшие наблюдательные дан-



**Анатолий Михайлович Черепашук**, академик, директор Государственного астрономического института им.П.К.Штернберга МГУ, заведующий астрономическим отделением физического факультета МГУ. Вице-президент Европейского астрономического общества, член Английского Королевского астрономического общества. Область научных интересов — исследование двойных систем, обратные задачи астрофизики. Член редколлегии журнала «Природа», постоянный автор журнала.

**В июле Анатолию Михайловичу исполняется 70 лет, с чем редакция его и поздравляет. Желаем юбиляру новых ярких успехов (и, конечно, статей)!**

ные укрепляют нашу уверенность в том, что черные дыры реально существуют. Почему же, несмотря на огромные усилия, предпринимаемые астрономами в области рентгеновской, оптической и радиоастрономии, до сих пор не произошло окончательного открытия черных дыр? Вспомним в этой связи открытие радиопульсаров — быстро вращающихся, сильно намагниченных нейтронных звезд. Буквально в течение нескольких лет после открытия природа этих объектов была твердо установлена, и открытие нейтронных звезд удостоилось Нобелевской премии. Все дело в том, что нейтронные звезды обладают наблюдаемыми поверхностями, быстро вращаются и во многих случаях имеют сильное магнитное поле, «привязанное» к поверхности нейтронной звезды,

ось вращения которой не совпадает с осью магнитного диполя. Быстрое вращение и сильное магнитное поле нейтронной звезды суть естественные следствия сжатия ядра родительской звезды до очень малых размеров компактного объекта (~10 км). Эти «удачные» особенности нейтронной звезды обуславливают ряд ярких специфических регистрируемых эффектов (например, феномены радиопульсара, рентгеновского пульсара, рентгеновского барстера I типа), по которым можно с достаточными основаниями отождествлять компактный объект с нейтронной звездой.

Согласно ОТО, черные дыры не обладают наблюдаемой поверхностью — это их главная отличительная особенность. Поэтому они не показывают ярких наблюдаемых эффектов, ко-

торые могли бы служить достаточным критерием для однозначного отождествления компактного объекта с черной дырой. Доказать отсутствие наблюдаемой поверхности у объекта гораздо сложнее, чем ее присутствие. Хотя бы потому, что мы можем не видеть ее даже у некоторых нейтронных звезд (например, из-за «неудачной» ориентации оси магнитного диполя относительно наблюдателя или из-за соосности оси вращения нейтронной звезды и оси ее магнитного диполя). В настоящее время мы можем утверждать только одно: с точки зрения наблюдений все необходимые условия, которые ОТО накладывает на свойства черных дыр, выполняются, с ОТО противоречий нет — но не более. И это несмотря на то, что число открытых кандидатов в черные дыры очень велико — составляет многие сотни.

В последние годы реализуются и планируются новые наземные и космические эксперименты, нацеленные на получение достаточных критериев для обоснования существования черных дыр — путем наблюдений так называемых эффектов сильной гравитации вблизи горизонтов событий. Каковы же новейшие данные по астрономическим наблюдениям черных дыр и перспективы получения окончательных доказательств существования этих экстремальных объектов?

### Удивительные свойства черных дыр

Черные дыры образуются при коллапсе (сжатии) ядер массивных звезд. С учетом эффектов ОТО, если масса ядра звезды, претерпевшего химическую эволюцию в результате термоядерных реакций, превышает  $3M_{\odot}$ , то в конце эволюции звезды образуется черная дыра (ЧД). Менее массивные звезды эволюционируют в белых карликов или нейтронные звезды.

Под черной дырой понимается объект (точнее, область пространства-времени), гравитационное поле которого столь сильно, что даже свет не может из него вырваться, т.е. вторая космическая скорость равна скорости света в вакууме  $c$  (300 тыс. км/с). Физическая граница ЧД — горизонт событий, на котором с точки зрения далекого наблюдателя ход времени останавливается: любому сколь угодно малому промежутку времени на горизонте событий соответствует сколь угодно большой промежуток времени во внешней Вселенной. В центре ЧД расположена сингулярность с формально бесконечной плотностью, куда сколлапсировала (в сопутствующей системе отсчета) материя, образовавшая ЧД. В этой сингулярности царят пока неизвестные нам законы квантовой гравитации, там отсутствуют классические пространство и время. Однако, поскольку сингулярность расположена в будущем по отношению к горизонту событий, незнание законов квантовой гравитации не мешает исследователям описывать горизонт событий и подавляющую часть внутренней ЧД с помощью классической ОТО.

Для невращающейся (шварцшильдовской) черной дыры радиус горизонта событий равен гравитационному радиусу:

$$r_g = 2GM/c^2,$$

где  $M$  — масса тела,  $G$  — гравитационная постоянная. Величина шварцшильдовского радиуса  $r_g = 9$  мм для Земли, 3 км для Солнца и 40 а.е. (расстояние от Солнца до Плутона, т.е. радиус Солнечной системы) для массы в 2 млрд  $M_{\odot}$  (такие ЧД встречаются в ядрах галактик). Для вращающейся ЧД горизонт событий меньше гравитационного радиуса, и он погружен внутрь так называемой эргосферы, содержащей вихревое гравитационное поле. Тело, попавшее в эргосферу, подхватывается вращающимся гравита-

ционным полем и будет вращаться вокруг центральной ЧД. Из эргосферы ЧД можно извлекать энергию с огромной эффективностью, во много раз превышающей эффективность выделения энергии при термоядерных реакциях.

Горизонт событий — не твердая наблюдаемая поверхность. Это так называемая световая поверхность в пространстве-времени, которую можно устранить выбором соответствующей системы отсчета. Например, для наблюдателя, свободно падающего на ЧД, горизонт событий отсутствует. Уникальные особенности горизонта событий ЧД описаны в недавнем обзоре И.Д.Новикова и В.П.Фролова [1]. Горизонт событий — это граница между различными сигналами, двигающимися со скоростью света. Одни из них могут уйти на пространственную бесконечность, другие не могут. Смогут ли сигнал навсегда покинуть ЧД, зависит от области пространства-времени, которая расположена в будущем по отношению к источнику сигнала. Таким образом, движение горизонта событий ЧД (например, связанное с изменением массы черной дыры за счет аккреции вещества на нее) зависит не от того, что произошло с ним в прошлом, а от того, что произойдет с ним в будущем (!). Эту необычную особенность горизонта событий ЧД — его способность «чувствовать» будущее — ученые иногда называют «теологической» природой горизонта.

Если же говорить о внутренней ЧД, то там с точки зрения внешнего наблюдателя пространственная и временная координаты меняются местами. Структура пространства-времени внутри вращающейся ЧД очень сложна и в сильной степени зависит от судьбы самой дыры в бесконечном будущем внешнего наблюдателя, например от возможных столкновений с другими объектами, квантового испарения и даже от будущего всей Вселенной. Как от-

мечают Новиков и Фролов, в таких обстоятельствах физики-теоретики чувствуют себя весьма неуютно...

Все перечисленные особенности ЧД столь необычны, что в существование этих поистине экстремальных объектов действительно трудно поверить. Ведь в структуре черной дыры наиболее ярко отражаются фундаментальные свойства пространства-времени, которые порой кажутся просто фантастическими: оказывается, пространство и время могут «меняться местами», а физический принцип причинности иногда должен пониматься в обобщенном смысле (будущее влияет на движение горизонта событий) и т.д. Окончательное доказательство существования ЧД означало бы настоящий прорыв в нашем понимании природы пространства-времени. Именно поэтому ученые, несмотря на наличие огромного наблюдательного материала по многочисленным кандидатам в дыры, который прекрасно согласуется с предсказаниями ОТО, до сих пор ищут решающие доказательства существования ЧД во Вселенной.

Более того, предлагаются релятивистские теории гравитации, альтернативные ОТО, в которых отвергается возможность существования ЧД. Например, как показано в работах А.А.Логунова и Л.П.Грищука [2], если ввести в уравнения, описывающие гравитационное поле, члены, обусловленные ненулевой массой покоя гравитона (кванта гравитационного поля), то горизонт событий не образуется и коллапсирующий объект большой массы (более  $3M_{\odot}$ ) может иметь наблюдаемую поверхность. Этот вывод радикально отличается от предсказания ОТО, что делает проблему поиска ЧД особенно интригующей и интересной. Окончательное слово в решении данного спора принадлежит астрономическим наблюдениям (мы не рассматриваем здесь возможность рождения миниатюрных

черных дыр при столкновении элементарных частиц очень высоких энергий, которая может быть реализована в Большом адронном коллайдере).

Прежде чем описывать «критические» эксперименты, нацеленные на получение окончательных доказательств существования ЧД, рассмотрим новейшие наблюдательные данные, которые, как уже подчеркивалось выше, прекрасно согласуются с предсказаниями ОТО, что укрепляет нашу уверенность в реальном существовании ЧД во Вселенной.

### Оптические улики

Черные дыры встречаются в рентгеновских двойных системах ( $M_{\text{чд}} \sim 4-20M_{\odot}$ ) и в ядрах галактик ( $M_{\text{чд}} \sim 10^6-10^{10}M_{\odot}$ ). Рентгеновская двойная система состоит из нормальной оптической звезды типа нашего Солнца и релятивистского объекта — нейтронной звезды или черной дыры. Приливные воздействия гравитационного поля релятивистского объекта на оптическую звезду вызывают ее деформацию и истечение вещества из нее, что приводит к формированию вокруг релятивистского объекта аккреционного диска с высокой температурой в его центральных частях. Поэтому окрестности релятивистского объекта светятся в рентгеновском диапазоне спектра. Теория дисковой аккреции вещества на релятивистские объекты была развита в 1972—1973 гг. в работах школы Я.Б.Зельдовича (Н.И.Шакуры, Р.А.Сюняева, И.Д.Новикова [3]), а также в работах Дж.Принглса и М.Риса [4] (Англия) и К.Торна [3] (США). Наблюдения в рентгеновском диапазоне спектра с бортов космических аппаратов (земная атмосфера в рентгене непрозрачна) дают возможность судить о наличии компактного объекта в двойной системе и оценивать его размеры по быстрой переменности излучения (эти оцен-

ки не превышают нескольких гравитационных радиусов). В то же время оптические наблюдения с помощью наземных оптических телескопов позволяют изучать движение нормальной звезды в двойной системе и, используя звезду как «пробное тело», определять массу релятивистского объекта. Если измеренная масса превышает  $3M_{\odot}$ , релятивистский объект может рассматриваться как кандидат в черные дыры.

Не менее важны наблюдения в оптическом и в ближнем ИК-диапазоне и в случае ядер галактик, также отслеживающие движения «пробных тел» (звезд, газовых облаков, газовых дисков) и тем самым дающие массы центральных сверхмассивных ЧД.

Поскольку расстояния «пробных тел» от центральной ЧД в обоих случаях много больше гравитационного радиуса дыры, для определения масс звездных и сверхмассивных ЧД оптическими методами вполне достаточно использовать закон тяготения Ньютона. Следует подчеркнуть, что, поскольку все теории гравитации (в том числе и теории, альтернативные ОТО, отвергающие существование ЧД) на больших расстояниях от тяготеющего центра переходят в ньютоновскую теорию гравитации, массы ЧД, найденные с помощью описанных выше оптических исследований, не зависят от типа релятивистской теории гравитации.

### Кандидаты из рентгеновских двойных систем

Одна из первых оценок массы звездной ЧД ( $M_{\text{чд}} > 5.6M_{\odot}$ ) была выполнена в работе В.М.Лютотова, Р.А.Сюняева и А.М.Черепашука при оптическом исследовании рентгеновской двойной системы Лебедь X-1 в 1973 г. [5]. Была открыта регулярная переменность блеска этой системы с орбитальным периодом 5.6 сут, обусловленная приливной де-

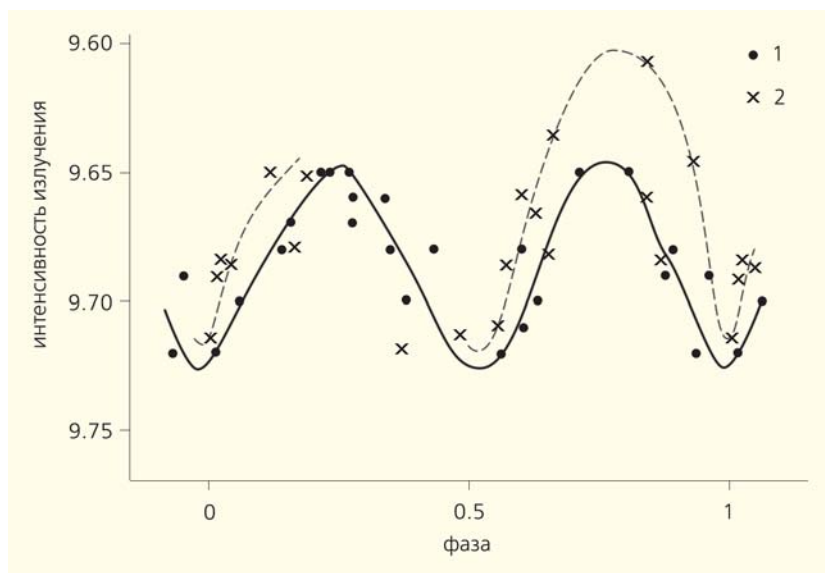


Рис.1. Оптическая кривая блеска рентгеновской двойной системы Лебедь X-1 («кандидата №1» в черные дыры), построенная в 1973 г. [7]. Точки и крестики соответствуют разным эпохам наблюдений.

формацией оптической звезды (так называемым эффектом эллипсоидальности), рис.1. По амплитуде этой «эллипсоидальной» переменности мы оценили угол наклона плоскости орбиты системы к картинной плоскости и, используя кривую лучевых скоростей оптической звезды, построенную по доплеровским смещениям линий в ее спектре, дали оценку массы ЧД.

На основе оптических исследований были развиты эффективные и надежные методы определения масс ЧД в рентге-

новских двойных системах (число которых сегодня превышает 1000). В частности, в нашей группе (отдел звездной астрофизики ГАИШ МГУ) развиты методы интерпретации кривых блеска, профилей линий и кривых лучевых скоростей рентгеновских двойных систем с учетом приливо-вращательной деформации оптической звезды, ее прогрева рентгеновским излучением аккрецирующего релятивистского объекта, а также с учетом наличия аккреционного диска сложной формы, рис.2, 3.

Применение столь реалистичной модели рентгеновской двойной системы и современных математических методов решения обратных параметрических задач в статистической постановке позволяет получать надежные значения параметров рентгеновских двойных систем и их ошибок, рис.4.

К настоящему времени рядом научных коллективов (из США, Англии, Германии, Голландии, России и др.) измерены массы 23 звездных ЧД ( $M_{\text{чд}} = 4-20M_{\odot}$ ), а также массы примерно 50 нейтронных звезд (НЗ) в двойных системах, рис.5.

Массы НЗ лежат в пределах  $1-2M_{\odot}$ , средняя масса такой звезды составляет  $\sim 1.4M_{\odot}$ . Все эти объекты показывают выраженные признаки наблюдаемой поверхности и являются либо радиопулсарами, либо рентгеновскими пульсарами, либо рентгеновскими барстерами I типа. Напомним, что феномен радиопулсара связан с быстрым осевым вращением и сильным магнитным полем НЗ, «привязанным» к ее поверхности. Феномен рентгеновского пульсара отражает наличие горячих рентгеновских областей (ударных волн) вблизи магнитных полюсов быстровращающейся сильно намагниченной аккрецирующей НЗ. Феномен рентгеновского барстера I типа обусловлен термоядерными взрыва-

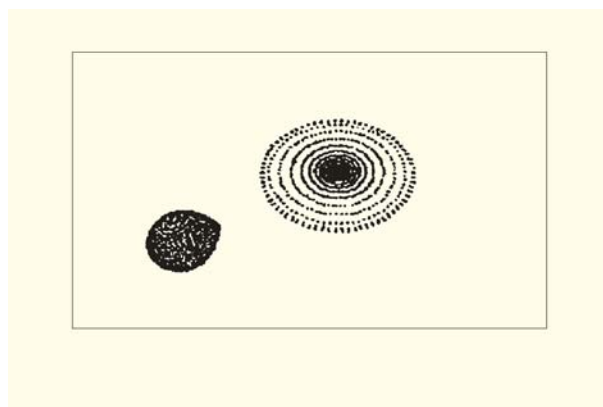
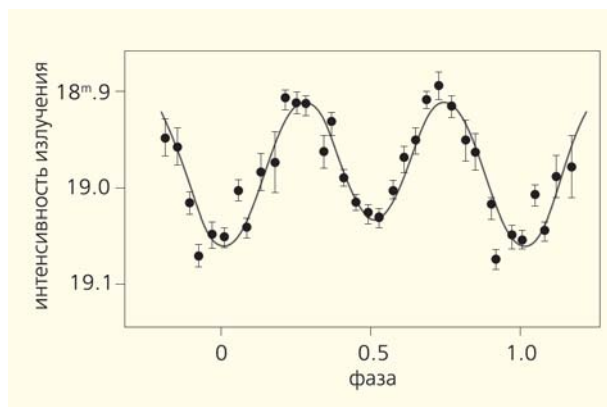


Рис.2. Оптическая кривая блеска рентгеновской двойной системы GRS 1124—68, содержащей черную дыру. Точки — наблюдения, сплошная линия — теоретическая кривая. Справа показана модель системы с аккреционным диском вокруг черной дыры.

ми вещества, накопленного в процессе аккреции на поверхности НЗ со слабым магнитным полем. Очевидно, все три феномена были бы невозможны, если бы НЗ не обладали наблюдаемыми поверхностями.

Таким образом, во всех случаях, когда компактный объект демонстрирует явные признаки наблюдаемой поверхности, его измеренная масса не превышает  $3M_{\odot}$  в полном согласии с предсказанием ОТО (!). Напомним, что число измеренных масс в данном случае весьма велико — достигает 50.

Рассмотрим теперь наблюдаемые свойства кандидатов в черные дыры. Измеренные массы 23 кандидатов лежат в пределах  $4-20M_{\odot}$ ; среднее значение составляет  $\sim 9M_{\odot}$ . Поскольку ЧД не имеет наблюдаемой поверхности, а имеет лишь горизонт событий, она не должна показывать феноменов радиопульсара, рентгеновского пульсара или рентгеновского барстера I типа. Именно так и обстоят дела с изученными 23 кандидатами в ЧД:

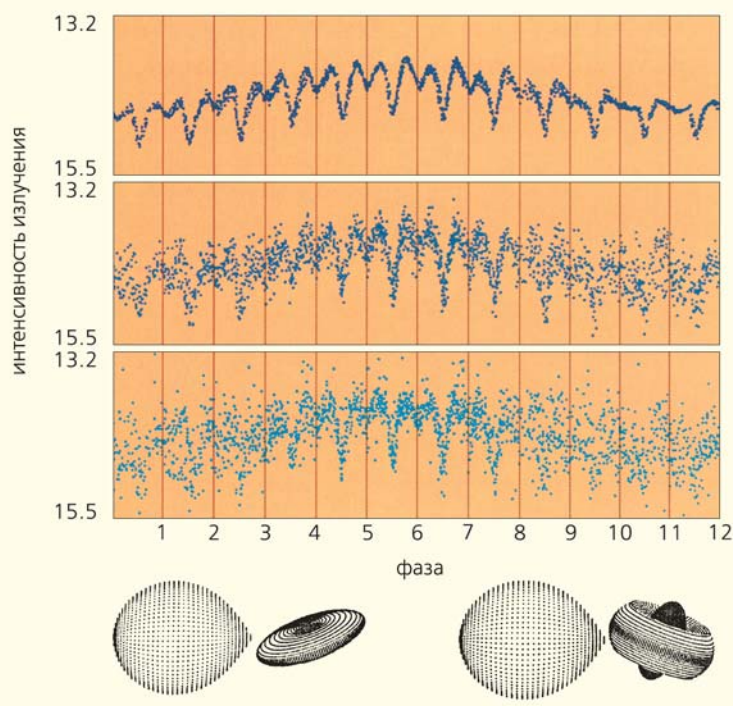


Рис.3. Оптическая кривая блеска рентгеновской двойной системы SS 433, отображающая затмения и прецессию оптически яркого сверхкритического аккреционного диска вокруг черной дыры. Цифрами указаны циклы орбитального периода (13.082 сут). Внизу показаны модели рентгеновской двойной системы с прецессирующим аккреционным диском.

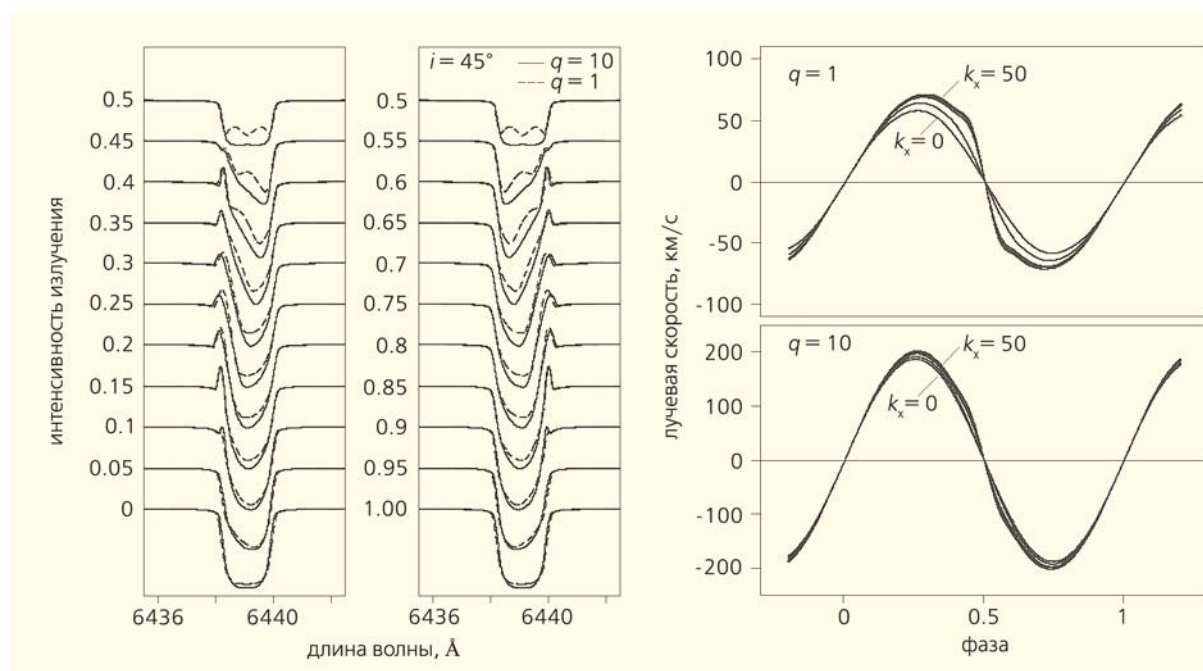


Рис.4. Форма профиля линии поглощения в оптическом спектре рентгеновской двойной системы в зависимости от фазы орбитального периода. Изменения вызваны приливной деформацией звезды и влиянием прогрева ее поверхности рентгеновским излучением аккрецирующего релятивистского объекта. Справа показаны соответствующие кривые лучевых скоростей для различных отношений масс компонент  $q$  и параметра рентгеновского прогрева  $k_x$ .



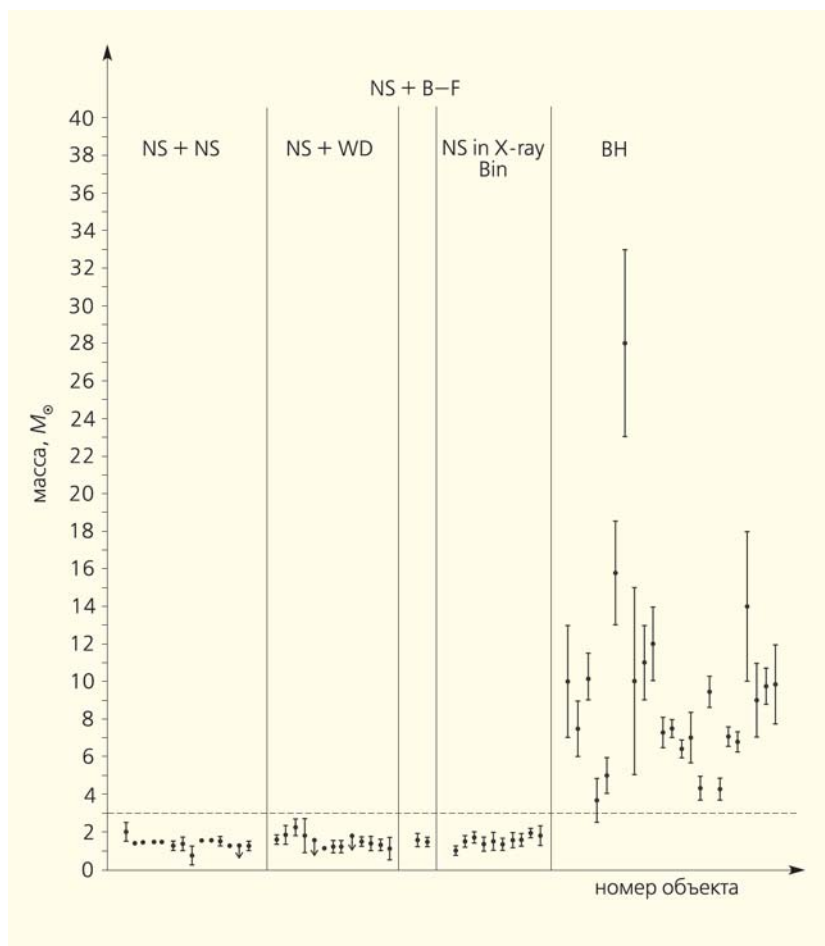


Рис. 5. Измеренные массы нейтронных звезд (NS) и черных дыр (BH) в двойных системах. Здесь NS + NS означает радиопульсар в паре с нейтронной звездой, NS + WD — радиопульсар в паре с белым карликом, NS + B—F — радиопульсар в паре с невырожденными звездами спектральных классов B—F, NS in X-ray Bin — рентгеновские пульсары в двойных системах. Пунктирная горизонтальная прямая отсекает  $3M_{\odot}$  — абсолютный верхний предел массы нейтронной звезды, предсказываемый ОТО Эйнштейна.

ни один (!) из этих массивных ( $M > 3M_{\odot}$ ) компактных объектов — рентгеновских источников — не является ни первым, ни вторым, ни третьим. Все они обладают лишь иррегулярной и квазипериодической (но не строго периодической!) переменностью рентгеновского излучения на временах от 0.1 до 0.001 с, что позволяет оценить характерные размеры этих объектов. В модели, учитывающей колебания внутренних частей аккреционного диска или орбитальное движение горячих пятен во внутренних частях диска, удастся показать, что столь быстрая

рентгеновская переменность кандидатов в ЧД обусловлена их очень малыми размерами, которые не превышают нескольких гравитационных радиусов.

Отметим, что помимо описанных ярких различий в наблюдательных проявлениях НЗ и кандидатов в ЧД имеются и более тонкие, связанные с формой и характером изменения во времени спектров их рентгеновского излучения. Эти детали также свидетельствуют о том, что НЗ обладают наблюдаемыми поверхностями, а ЧД — нет.

Таким образом, по мере накопления сведений о массах ре-

лятивистских объектов постепенно выкристаллизовывается замечательный результат: НЗ и кандидаты в ЧД различаются не только по массам, но и по наблюдательным проявлениям в полном количественном согласии с ОТО. Вблизи теоретически предсказанного значения массы  $3M_{\odot}$  (верхний предел массы НЗ по ОТО) наблюдается разрыв в наблюдательных проявлениях релятивистских объектов. У объектов с массами более  $3M_{\odot}$  в полном согласии с ОТО нет признаков наблюдаемых поверхностей, а в тех случаях, когда такие признаки есть, масса объектов всегда не превышает  $3M_{\odot}$  (!).

Следует, однако, повторить, что наблюдаемая поверхность некоторых НЗ может быть «не видна» нам. Поэтому перечисленные выше регистрируемые различия между НЗ и ЧД служат лишь необходимым, но не достаточным критерием того, что рассмотренные 23 кандидата в ЧД — таковые на самом деле. Тем не менее большое число изученных объектов укрепляет нашу уверенность в том, что черные дыры звездных масс действительно существуют. Поэтому в последнее время астрономы вместо осторожного словосочетания «кандидат в ЧД» используют термин «ЧД».

В последнее время в связи с пуском в строй новых крупных 8—10-метровых оптических телескопов началось изучение рентгеновских двойных систем, расположенных в других галактиках, что может привести к значительному росту числа измеренных масс НЗ и ЧД.

Благодаря большому числу измерений масс ЧД в последние годы родилась новая область астрофизики — демография черных дыр, изучающая их рождение, рост, а также эволюционную связь с другими объектами Вселенной: звездами, галактиками и т.д.

Выясняется, что распределение звездных ЧД по массам примерно плоское и обрывается в районе малых масс для  $M < 4M_{\odot}$ ,

рис.6. Это кажется удивительным: ведь звездные ЧД образуются при коллапсах ядер массивных звезд, число которых в Галактике, как показывают наблюдения, сильно возрастает с уменьшением массы звезды. Почему же мы наблюдаем явный дефицит маломассивных ЧД? Если этот дефицит не связан с эффектами наблюдательной селекции (а, как показывает анализ, это, скорее всего, действительно так), можно выдвинуть несколько гипотез для его объяснения. Одну из таких гипотез предложили в 2003 г. мы с К.А.Постновым [6]. Мы обратили внимание, что в некоторых современных многомерных моделях гравитации время квантового испарения ЧД получается много меньше, чем в теории Хокинга для случая четырехмерной теории гравитации Эйнштейна. Для достаточно малых характерных масштабов  $L$  дополнительного пространственного измерения это время становится сравнимым с временем ядерной эволюции звезд и составляет  $10^8$ – $10^9$  лет. Тогда дефицит ЧД малых масс может быть объяснен тем, что маломассивные дыры (скорость квантового испарения которых максимальна) успели испариться за время жизни Вселенной. Более того, если ЧД входит в тесную двойную систему, то из-за уменьшения массы дыры, вызванного ее усиленным квантовым испарением, орбитальный период двойной системы должен изменяться (возрастать). Наблюдения за изменениями орбитальных периодов рентгеновских двойных систем с черными дырами ведутся (в том числе и нашей группой). Из этих наблюдений уже получены ограничения сверху на характерный масштаб дополнительного (четвертого) пространственного измерения  $L < 0.1$  мм, что лишь на порядок больше, чем ограничения, следующие из лабораторных физических экспериментов. Дальнейшее накопление наблюдательных данных по изменениям орбитальных периодов рентгенов-

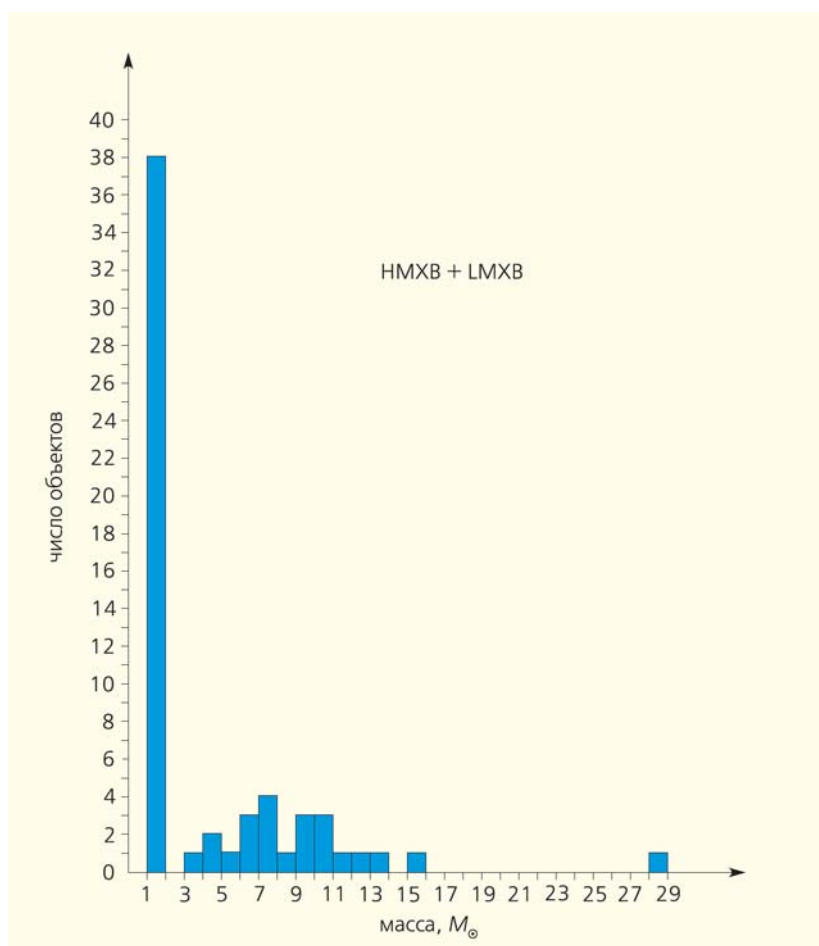


Рис.6. Распределение масс нейтронных звезд и черных дыр в двойных системах. Высокий пик слева соответствует НЗ.

ских двойных систем с ЧД позволит существенно улучшить эту оценку.

В последнее время выясняется глубокая связь между явлениями космических гамма-всплесков и формированием быстровращающихся (керровских) черных дыр звездных масс при коллапсах ядер массивных звезд. Чтобы сохранить значительный угловой момент ядра звезды, который при коллапсе ядра может передаваться сбрасываемой оболочке звезды и уноситься на бесконечность, необходим механизм поддержания быстрого осевого вращения ядра. Как было отмечено в 2004 г. нами с А.В.Тутуковым [7], механизм поддержания быстрого вращения коллапсирующего ядра звезды может быть орби-

тальное движение близкого спутника в очень тесной двойной системе. Таким образом, наблюдая далекие космические гамма-всплески, мы как бы видим процесс рождения быстровращающихся ЧД в подобных системах. Недавно был открыт космический гамма-всплеск с огромным красным смещением:  $z \sim 8.2$ , что соответствует его собственному возрасту менее 300 млн лет. Это означает, что уже в ту, очень раннюю, эпоху существования Вселенной были сформированы массивные звезды, из которых образовались ЧД, а взрывы соответствующих сверхновых обогатили межзвездную среду тяжелыми химическими элементами.

Оценки, сделанные на основе описанных данных (с учетом

эффектов наблюдательной селекции) показывают, что полное число ЧД звездных масс в нашей Галактике должно составлять  $\sim 10^7$ . При средней массе в  $9-10M_{\odot}$  полная масса, заключенная в ЧД, составляет  $\sim 10^8M_{\odot}$ , или около 0.1% от массы видимого барионного вещества Галактики, содержащегося в звездах, газе и пыли. Величина 0.1% весьма значительна, поэтому можно говорить об открытии нового состояния материи в Галактике — коллапсирующего (наряду с твердым, жидким, газообразным и плазменным состояниями).

### Сверхмассивные черные дыры в ядрах галактик

Массы сверхмассивных ЧД в ядрах галактик (рис.7) определяются в предположении, что движение «пробных тел» (газовых облаков, газовых дисков, отдельных звезд вблизи ЧД) управляется гравитационным полем дыры. Тогда, используя закон тяготения Ньютона и приравняв силу тяготения к центростремительной силе, можно записать выражение для массы центральной сверхмассивной ЧД:

$$M_{\text{чд}} = \eta v^2 r / G,$$

где  $v$  — скорость пробного тела,  $r$  — его расстояние от централь-



Рис.7. Спиральная галактика М 88, в центре которой расположена сверхмассивная черная дыра.

ной ЧД,  $G$  — гравитационная постоянная,  $\eta = 1-3$  — коэффициент, учитывающий характер движения пробных тел вокруг центральной ЧД (для круговых движений  $\eta = 1$ ). Итак, чтобы определить массу ЧД, достаточно знать  $v$  и  $r$  (масса пробного тела сокращается ввиду принципа эквивалентности — равенства гравитационной и инертной масс).

Существуют два наиболее надежных метода определения масс сверхмассивных ЧД в центрах галактик: метод «разрешенной динамики» и метод «эхокартирования».

Первый основан на непосредственном наблюдении движения пробных тел. Он применяется для наиболее близких галактик, для которых угловое разрешение современных телескопов позволяет непосредственно «увидеть» пробные тела, расположенные в ядре галактики, и прямо измерить их скорости и расстояния от центральной ЧД. К сожалению, для большинства удаленных галактик углового разрешения телескопов не хватает, и тогда используется метод эхокартирования, в котором скорости и расстояния для пробных тел измеряются опосредованно. Скорость оценивается по доплеровской полуширине линий излучения, формирующихся в газовых облаках, которые двигаются вокруг центральной ЧД. Эти линии в спектре ядра галактики уширены из-за действия эффекта Доплера, поэтому их полуширина характеризует среднюю скорость движения пробных тел. Характерное расстояние  $r$  определяется по времени запаздывания переменности линий излучения относительно переменности непрерывного спектра (континуума) ядра галактики. Эффект запаздывания переменности линий излучения относительно переменности континуума в спектрах активных ядер галактик был открыт в 1972 г. В.М.Лютым и мной, рис.8 [8]. Оказалось, что хотя из-за нестационарных

процессов в ядре галактики и линии, и континуум меняются хаотически, между их изменениями наблюдается корреляция: изменения в линиях повторяют изменения континуума, но с запаздыванием на время  $\Delta t$ , которое для разных галактик составляет от недели до нескольких месяцев. Величина  $\Delta t$  — это время пролета формирующихся в процессе аккреции вблизи ЧД квантов жесткого излучения до газовых облаков — пробных тел, излучающих в частотах линий. Тогда характерное расстояние от пробных тел до центральной ЧД равно:  $r \approx c\Delta t$ , где  $c$  — скорость света. Знание характерной скорости  $v$  и характерного расстояния  $r$  позволяют оценить массу сверхмассивной ЧД.

Существуют также менее надежные, косвенные, методы оценки масс сверхмассивных ЧД: например, по ширинам и абсолютным интенсивностям линий излучения в спектре ядра галактики; по эмпирической зависимости между массой ЧД и дисперсией скоростей звезд в ее центральных частях; по частоте, соответствующей излому в спектре мощности иррегулярной переменности рентгеновского излучения галактического ядра, и т.д. Такие методы позволяют оценивать массы большого числа сверхмассивных ЧД, что важно для статистических исследований. Как правило, их результаты калибруются по значениям масс сверхмассивных ЧД, измеренных наиболее достоверными методами разрешенной динамики и эхокартирования.

К настоящему времени этими методами надежно измерены массы около сотни сверхмассивных ЧД в ядрах галактик, которые лежат в пределах  $10^6 - 10^{10}M_{\odot}$ . Например, в недавней работе, опубликованной астрономами из США, Германии, Франции и Израиля [9], представлены результаты шестнадцатилетних наблюдений движения 28 звезд вблизи центра нашей Галактики в ближнем инфракрасном диапазоне спектра с

высоким угловым разрешением (ядро Галактики скрыто от нас за толстым слоем межзвездной пыли и газа). Построены орбиты этих звезд, и определена масса центральной сверхмассивной ЧД с точностью лучше 10%:  $M_{\text{чд}} = (4.31 \pm 0.36) \cdot 10^6 M_{\odot}$ , рис.9.

Применение описанных выше косвенных методов позволило оценить массы многих тысяч сверхмассивных ЧД в ядрах галактик. Например, с использованием данных специального спектрофотометрического обзора неба SDSS косвенными методами удалось оценить массы сверхмассивных ЧД в центрах около 60 тыс. квазаров (очень активных галактических ядер) и построить статистическую зависимость масс сверхмассивных ЧД от красного смещения в диапазоне  $z = 0.1 - 4.5$ . Выяснилось, что в среднем намечается эффект увеличения масс сверхмассивных ЧД с ростом красного смещения (т.е. с уменьшением собственного возраста квазара). Возможно, этот эффект связан с наблюдательной селекцией: черные дыры сравнительно малых масс трудно обнаружить на больших расстояниях. Сейчас астрономы разбираются в этой трудной проблеме. Если данный эффект не сильно отягощен наблюдательной селекцией, его трудно понять в рамках модели наращивания массы сверхмассивной ЧД за счет аккреции вещества ядра квазара. Но особенно трудно объяснить тот факт, что открыто уже свыше десятка квазаров с огромными красными смещениями  $z > 6$ , собственный возраст которых менее миллиарда лет. Как успели сформироваться столь массивные ( $M_{\text{чд}} = 10^8 M_{\odot}$ ) дыры за время менее 1 млрд лет? Этот наблюдательный факт ставит серьезную проблему перед теоретиками.

Существует статистическая связь между массой сверхмассивной ЧД и массой балджа галактики (балдж — это сферическое сгущение старых маломассивных звезд с большой диспер-

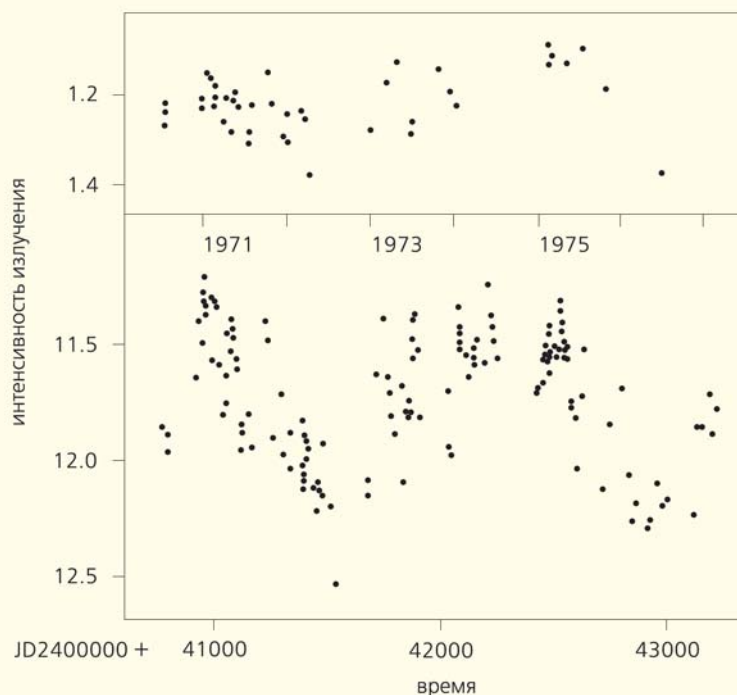


Рис.8. Изменения интенсивности эмиссионной линии  $H_{\alpha}$  (вверху) и оптического непрерывного спектра (внизу) со временем. Изменения в линии повторяют изменения непрерывного спектра, но с запаздыванием на  $\approx 1$  мес [8].

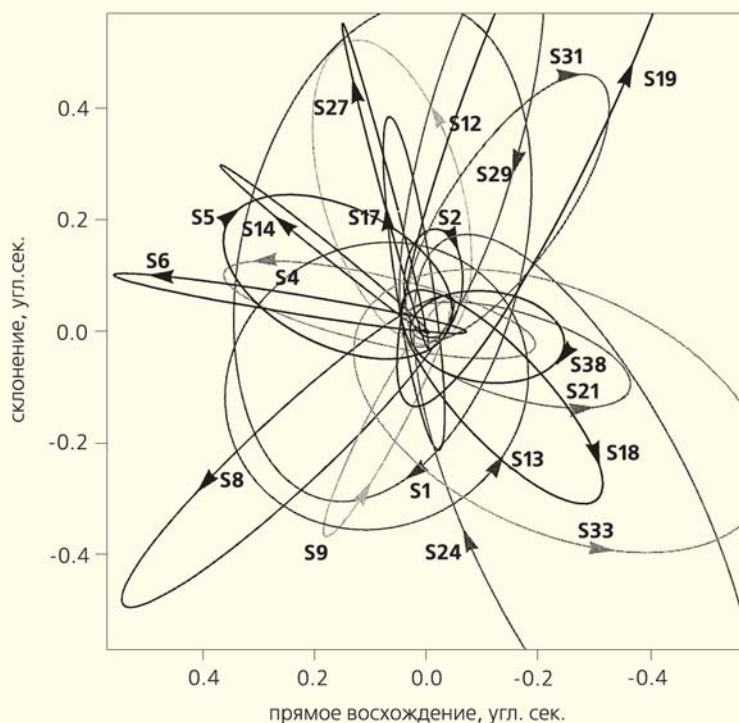


Рис.9. Орбиты 28 звезд вокруг сверхмассивной ЧД в центре нашей Галактики, по которым оценивается масса черной дыры:  $M_{\text{чд}} = (4.31 \pm 0.36) \cdot 10^6 M_{\odot}$  [9].

сией скоростей в центральной части галактики). Кроме того, масса сверхмассивной ЧД коррелирует с дисперсией скоростей звезд балджа (характеризующей глубину потенциальной ямы, в которой тот «сидит»), а также со степенью сгущения звезд балджа к его центру. Наконец, в последнее время выявляется корреляция между массой центральной сверхмассивной ЧД и массой галактического гало, состоящего из темной материи.

Таким образом, из наблюдений следует, что в образовании сверхмассивных ЧД могла принимать участие как барионная материя балджа галактики, так и темная материя галактического гало. Все эти закономерности имеют значение для построения адекватной модели формирования и роста таких дыр в ядрах галактик. Сейчас данное направление активно развивается рядом научных групп как в нашей стране, так и за рубежом.

### Эксперименты с высоким угловым разрешением

Наиболее убедительным свидетельством существования ЧД было бы получение ее прямого изображения. На светлом фоне внутренней части геометрически тонкого яркого аккреционного диска дыра должна наблюдаться как темное пятно (тень), поскольку от горизонта событий никакой сигнал, в том числе и электромагнитное излучение, не может удалиться на пространственную бесконечность. Из-за гравитационного линзирования

внутренних частей аккреционного диска (искривления лучей света от диска в сильном гравитационном поле ЧД) видимый диаметр этой тени должен быть в ~2.6 раза больше, чем удвоенный гравитационный радиус ЧД. Более того, фотоны вблизи горизонта событий могут захватываться гравитационным полем дыры и двигаться, совершая много оборотов вокруг нее (это одна из причин увеличения видимого диаметра тени). Поэтому обнаружение тени в центральных частях яркого аккреционного диска будет прямым свидетельством того, что в центре аккреционного диска расположена именно ЧД, а не какой-то другой экзотический объект. Измерение диаметра тени и ее формы позволит независимо определить массу центральной ЧД и ее угловой момент вращения. Кроме того, изучая переменность внутренних частей аккреционного диска и распределение в них яркости (из-за релятивистских эффектов яркость частей диска, приближающихся к наблюдателю, должна быть усилена), можно наложить ограничения на метрику пространства-времени вблизи горизонта событий вращающейся ЧД. Все это позволит получить окончательные доказательства того, что изучаемый компактный и массивный объект — реальная черная дыра.

В течение ближайших 10—15 лет планируется запуск на орбиту космических интерферометров в коротковолновом радиодиапазоне (проект «Миллиметр», Россия) и в рентгеновском диапазоне (проект

MAXIM, США) с угловым разрешением  $\sim 10^{-7}$ — $10^{-8}$  с. Столь высокое угловое разрешение позволит наблюдать тени от ЧД.

В таблице приведены массы некоторых звездных и сверхмассивных ЧД, расстояния до них и соответствующие линейные и угловые диаметры их тени. Видно, что ожидаемый угловой диаметр тени от дыры звездной массы очень мал ( $\sim 10^{-9}$ ) и находится на пределе возможностей космических интерферометров. Однако угловые диаметры теней от сверхмассивных ЧД в ядрах нашей Галактики и других ближайших к нам галактик весьма велики: составляют  $\sim 5 \cdot 10^{-5}$ — $5 \cdot 10^{-7}$  секунды дуги, а это уже вполне доступно для планируемых космических интерферометров. Например, угловой диаметр тени от горизонта событий сверхмассивной ЧД в центре нашей Галактики ( $M \sim 4 \cdot 10^6 M_{\odot}$ ) составляет  $\sim 5 \cdot 10^{-5}$  с, а в случае туманности Андромеды ( $M \sim 31$ ) это  $\sim 4 \cdot 10^{-6}$  с, рис.10.

В последние годы наблюдения ближайших окрестностей сверхмассивной ЧД в центре нашей Галактики проводятся с помощью наземных радиоинтерферометров со сверхдлинной базой. Из-за рассеяния радиоволн плазмой, окружающей центральную ЧД, к горизонту событий ЧД удастся «пробиться» лишь на коротких волнах (порядка 1 мм и короче). Недавно группе американских ученых таким способом удалось выполнить измерения ближайших окрестностей горизонта событий центральной ЧД в ядре нашей Галактики на длине волны 1.3 мм

**Таблица**

**Характеристики некоторых звездных и сверхмассивных ЧД**

Объект	Масса, $M_{\odot}$	Расстояние, кпк	Радиус Шварцшильда, см	Радиус Шварцшильда, а.е.	Радиус Шварцшильда, мкс дуги	Диаметр тени, мкс дуги
Звездная ЧД	$10^1$	1	$2.95 \cdot 10^6$	$1.97 \cdot 10^{-7}$	0.0002	0.001
Sgr A*	$4.1 \cdot 10^6$	8	$1.09 \cdot 10^{12}$	$7.28 \cdot 10^{-2}$	09.10	45.48
M 31	$3.5 \cdot 10^7$	800	$1.03 \cdot 10^{13}$	$6.88 \cdot 10^{-1}$	0.86	4.30
NGC 4258	$3.9 \cdot 10^7$	7200	$1.15 \cdot 10^{13}$	$7.76 \cdot 10^{-1}$	0.11	0.53
M 87	$3.2 \cdot 10^9$	16100	$9.44 \cdot 10^{14}$	$6.29 \cdot 10^1$	3.91	19.54

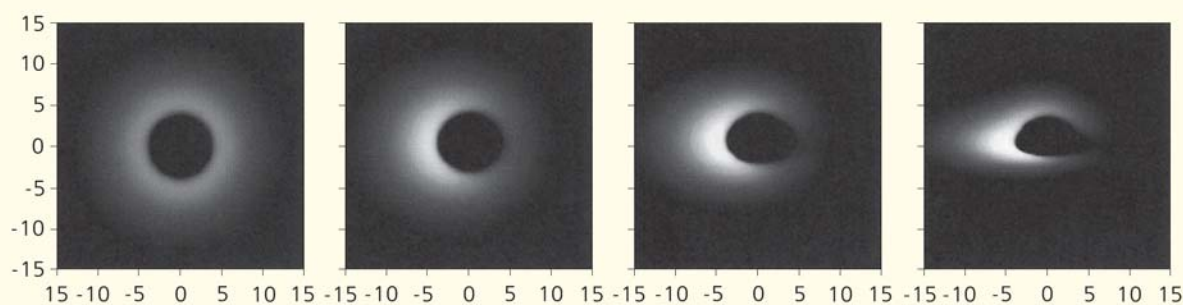


Рис.10. Картина, которую «увидит» наблюдатель центра Галактики с помощью интерферометра с угловым разрешением лучше  $10^{-6}$  секунды дуги. Выделяются внутренняя, яркая, часть аккреционного диска и «тень» от сверхмассивной черной дыры. Показаны изображения для разных углов наклона плоскости диска к картинной плоскости (слева направо):  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $70^\circ$ . По осям указаны расстояния от центра черной дыры в долях гравитационного радиуса  $r_g$  [10].

с разрешением лучше  $10^{-4}$  секунды дуги [11]. Оказалось, что размеры наблюдаемой яркой структуры меньше диаметра тени от ЧД, что свидетельствует, скорее всего, о том, что авторы наблюдали наиболее яркую часть аккреционного диска (плоскость которого близка к лучу зрения), в которой вещество приближается к наблюдателю. Авторы планируют вдвое уменьшить рабочую длину волны (что в два раза повысит разрешающую способность интерферометра) и увеличить количество приемных антенн. После преодоления многочисленных трудностей, присущих радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой на очень коротких волнах, они надеются получить изображение тени от горизонты событий сверхмассивной ЧД в центре нашей Галактики.

Все эти исследования столь захватывающи и перспективны,

что в последние годы регулярно проводятся специальные международные конференции, посвященные изучению эффектов сильной гравитации вблизи горизонтов событий ЧД.

### Ожидаемые итоги

Прошло 400 лет с того момента, как Галилей навел свой телескоп на небо. Современная астрономия имеет в своем распоряжении неизмеримо более мощные наблюдательные средства, чем те, которыми пользовался Галилей. Кроме того, благодаря эре космических исследований, открытой в СССР в 1957 г. запуском первого искусственного спутника Земли, современная астрономия стала всеволновой. Результаты, изложенные выше, демонстрируют, как комбинация мощи наземных оптических телескопов

с уникальными возможностями космических исследований в рентгеновском и радиодиапазонах спектра позволяют получать фундаментальные научные результаты первостепенного значения.

Открыты многие сотни массивных и чрезвычайно компактных объектов-кандидатов в черные дыры, наблюдаемые свойства которых очень похожи на их характеристики, предсказываемые ОТО Эйнштейна. Можно надеяться, что в течение ближайшего десятилетия будут реализованы специальные наземные и космические эксперименты, нацеленные на получение прямых доказательств реальности черных дыр.

Окончательное открытие черных дыр станет выдающимся достижением естествознания XXI в. и приведет к прорыву в нашем понимании природы материи и пространства-времени. ■

### Литература

1. Новиков И.Д., Фролов В.П. // Успехи физических наук. 2001. Т.171. С.307–324.
2. Шакура Н.И., Сюняев Р.А. // Astronomy and Astrophysics. 1973. Т.24. С.337–355.
3. Novikov I.D., Thorne K.S. // Black Holes / Eds C.De Witt. B.S.De Witt. N.Y., 1973. P.343–450.
4. Pringle J., Rees M. // Astronomy and Astrophysics. 1972. V.21. P.1–9.
5. Лютый В.М., Сюняев Р.А., Черепашук А.М. // Астрономический журнал. 1973. Т.50. С.3–11.
6. Постнов К.А., Черепашук А.М. // Астрономический журнал. 2003. Т.80. С.1075–1085.
7. Тутуков А.В., Черепашук А.М. // Астрономический журнал. 2004. Т.81. С.43–48.
8. Cherepashchuk A.M., Lyutyi V.M. // Astrophysical Letters. 1973. V.13. P.165–168.
9. Gillessen S. et al. // Astrophysical Journal. 2009. V.692. P.1075–1109.
10. Watarai K.-Y. et al. // Publications of the Astronomical Society of Japan. 2005. V.57. P.513–524.
11. Doeleman S.S., Weintraub J., Rogers A.E.E. // Nature. 2008. V.455. P.78–80.

## От редакции

Ко времени, когда эта статья попадет читателю, Анатолий Михайлович свой юбилей уже отпразднует. А юбилей «Природы» еще впереди — в январе 2012 г. журналу исполнится 100 лет! В ожидании этого знаменательного события мы организовали научно-популярный цикл «Публичные чтения журнала “Природа”»\*. По сути — это устные выпуски избранных статей наших лучших авторов, которые не только рассказывают о новейших результатах исследований в близких им областях науки, но и отвечают на вопросы слушателей. Академик Черепашук, несколько предвосхитив выход в свет своей статьи, выступил 10 марта с докладом «Новые формы материи во Вселенной». Лекция собрала полный конференц-зал Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга. Вот лишь малая доля откликов на выступление Анатолия Михайловича пользователей сайта [www.theoryandpractice.ru](http://www.theoryandpractice.ru), где анонсировалась лекция.

**KATARINA:**

Черные дыры, кротовые норы, белые карлики, туманность Андромеды... Как, оказывается, много интересного в этом мире (одном из миров??)!!!!

**SVETAFO:**

Кротовые норы взорвали мне всю Вселенную!

**SAMENA:**

Отличная лекция! Большое спасибо Анатолию Черепашуку за прекрасно преподнесенный материал! Открыла для себя много нового.

**DARA1980:**

Прекрасная лекция! Была и буду! посещать подобные лекции!

**JAMIL:**

Слушалось на одном дыхании. Спасибо лектору! Буду следить за ним.

**MIKE2010:**

Да, это было здорово! Интересная, горячая тема, отличное, захватывающее, заинтересованное, эмоциональное изложение, видно, что человек этим живет, ему это действительно интересно, и он умеет донести тему до аудитории. Лекция действительно публичная, перегруз математикой отсутствует. Рекомендую.

**CUTTYS:**

Лекция была просто потрясающая!

**AION:**

Согласен, о-о-очень интересно! Почаще бы такие вещи проводились!

**VOSKRESKA:**

Огромное спасибо организаторам за лекцию! Восхищает харизма лектора, прекрасное разно-

стороннее знание материала и отсутствие догматизма при обсуждении таких, казалось бы, псевдонаучных тем, как машина времени, парадокс дедушки, возможность перемещаться в пространстве через кротовые норы, наличие параллельных вселенных и попытки поймать маленькие черные дыры! Мне очень-очень понравилось! Всем рекомендую! Советую отправлять в ГАИШ на лекции детей-школьников — очень просто, понятно, интересно и увлекательно, а общая атмосфера завораживает и хочется там учиться.

**FOUNTAIN:**

Не покидает ощущение, что подобную лекцию должен прослушать буквально каждый. Сегодня много говорят об адронном коллайдере и черных дырах, темной энергии и Большом взрыве, но как только пытаешься у кого-то выяснить суть явления или хотя бы общий смысл и взаимосвязь, становится очевидным, что это только громкие термины, а знания в этих областях — не более чем цитата последнего выпуска новостей на Первом канале или на сайте РБК. <...>

Теперь в голове сложилась картина: взаимосвязи проблем, задач и инструментов развития астрономии — все теперь вот тут, со мной. А вспоминаю множество графиков и картинок, теперь есть еще и образы, наглядные взаимосвязи. Конечно, все это на уровне общих представлений. Но я не стремлюсь к решению уравнений струнной теории или многомерного пространства, я хочу понять суть. И это все за чуть менее полутора часов. Это было классно. Как бы найти таких людей в каждой области науки! После этого приток студентов в науку поднялся бы на порядок!

Осталось сказать СПАСИБО Анатолию Черепашуку, академику РАН и директору Института астрономии им. Штернберга, в зале которого и произошла лекция. Рекомендую.

*P.S.* Тем, кто был: полет нормальный!

\* Информацию о лекциях цикла «Публичные чтения журнала “Природа”» можно найти на сайтах [www.elementy.ru](http://www.elementy.ru) и [www.theoryandpractice.ru](http://www.theoryandpractice.ru). Следите за анонсами следующих лекций!

# Городские почвы

А.В.Смагин

Состояние городских почв напрямую определяет не только продуктивность и устойчивость зеленых насаждений, но и экологическую обстановку в мегаполисе в целом. Почва выполняет жизненно важные функции по очищению (ремедиации) окружающей среды, атмосферы и поверхностных вод, она разлагает органические отходы, загрязняющие среду и опасные для здоровья человека. Почва закрепляет земную поверхность, предохраняя ее от размывания и ветровой эрозии, образования пыли, блокируя развитие оползней, карстовых явлений и иных глубинных процессов, нарушающих геологическую стабильность территории.

В природе на формирование почв и поддержание их в должном состоянии уходит более 50% ежегодно синтезируемой органической продукции и биогенных потоков энергии [1]. В агро- и урбоэкосистемах человек, активно использующий вещество и энергию почвенных ресурсов, должен взять на себя заботу об их воспроизводстве во избежание необратимой деградации и экологического кризиса. На примере столичного мегаполиса рассмотрим основные проблемы экологии городских почв и возможные пути их решения.

В городах особенно важна газовая функция почв [2, 3]. Там они не в меньшей, а, возможно, и в большей степени, чем растения, контролируют состав атмо-



**Андрей Валентинович Смагин**, доктор биологических наук, профессор кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения Института экологического почвоведения Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Автор и соавтор более 170 научных работ, включая 11 монографий. Область научных интересов — процессы и модели природной и антропогенной организации почв как динамических биокосных систем.

сферы и наличие в ней вредных газов. Так, почвенный покров поглощает из атмосферы и утилизирует 70—80% окиси углерода (CO), 80—85% диоксида серы, токсичные полиароматические и хлорорганические газообразные соединения. И наоборот, нарушенные почвы при активизации биодеструкции органических веществ поглощают кислород и выделяют CO<sub>2</sub> на порядок больше, чем весь автотранспорт, промышленные предприятия и население на данной площади.

Известно, что в Москве при озеленении широко применяют торфяной грунт, который неустойчив к микробному разложению (периоды его полураспада ~1.5—2 года, соответственно константы биодеструкции 0.3—0.4 год<sup>-1</sup>). При таких темпах разложения от первоначального количества сухого торфа 3—5 кг·м<sup>-2</sup> через год останется не более ≈2.2 кг·м<sup>-2</sup>, т.е. 0.8 кг·м<sup>-2</sup> торфа минерализуются до углекислого газа, воды

и побочных соединений. Поскольку сухой торф содержит около 40% органического углерода, при ежегодной минерализации 0.8 кг·м<sup>-2</sup> такого материала каждый 1 м<sup>2</sup> будет выделять 1.1 кг CO<sub>2</sub> (соотношение молярных масс углекислого газа и углерода — 44/12). Очевидно, что эта величина на порядок выше удельного вклада в эмиссию CO<sub>2</sub> со стороны всего столичного автотранспорта, суммарный выброс от которого составляет ≈0.1 кг·м<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup>. Значит, если большую часть открытых площадей в городе засыпать подобным «растительным грунтом» из осушенных болот Подмосковья, загрязнение городской атмосферы и локальный парниковый эффект будут сильнее, чем от техногенных источников, загрязняющих окружающую среду и опасных для здоровья и жизни населения.

Как оценить качество почвы? Почвы — биокосные объекты, и если биологическая часть в них исчезает, они превраща-



ются в бесплодный грунт, в котором отсутствуют или подавлены микрофлора, почвенные беспозвоночные, корни и всходы растений. Такие почвы не способны поддерживать рост зеленых насаждений и выполнять другие экологические функции. В городе ненормируемая деятельность человека приводит к чрезмерному уплотнению почвы; неблагоприятному водно-воздушному режиму (недостатку или избытку влаги); засолению электролитами (в составе противогололедных средств и химических удобрений); защелачиванию; загрязнению и отравлению тяжелыми металлами, радионуклидами, органическими поллютантами и микробными токсинами; к дисбалансу круговорота углерода, азота и биофильных элементов. Наконец, запечатанная в ходе строительства твердыми покрытиями, погребенная строительным мусором и бесплодным минеральным грунтом почва может вообще исчезнуть. Все эти факторы учитываются при оценке *экологического состояния* городских почв — совокупности свойств и характеристик почвы, от которых прямо или косвенно зависит реализация ее экологических функций, включая плодородие [4].

В последние годы правительство Москвы приняло ряд постановлений в области охраны и менеджмента почв, в том числе закон г.Москвы «О городских почвах» (2007) и эффективно действующую систему добровольной сертификации «Экологические почвогрунты» (2006), направленную на контроль качества используемых в городе почв. Постепенно формируется нормативная база оценки качества почв, отражающая имеющиеся наработки в данной области, и в первую очередь недавно утвержденные на федеральном уровне гигиенические нормативы и санитарные нормы и правила.

Вместе с тем многие аспекты экологической оценки город-

ских почв до сих пор не решены. Фактически отсутствует научно обоснованная характеристика почвы как распределенного ресурса, сложно организованного, пространственно неоднородного объекта. Используемая в настоящее время методика заимствована из практики исследования однородных сопредельных сред — воды и воздуха, где качество среды определяется одним (тем или иным) показателем, репрезентативным для всего объема объекта. Для оценки почв с системой генетических и функциональных горизонтов и латеральной пространственной изменчивостью требуется иная методология: наряду с традиционными показателями необходимы интегральные характеристики, отражающие *запасы веществ* во всей почвенной толще на единице площади.

### Ресурсная оценка

Для оценки качества почв мы предлагаем использовать так называемый *ресурсный* подход [4]. Он состоит в том, что в конкретном количестве почвы на земельном участке заданной площади определяется количество депонированных в ней веществ, которые условно делятся на полезные (элементы питания растений и почвенных организмов, структурные компоненты) и вредные (загрязняющие элементы и их соединения). Именно этот запас и есть точно измеряемый (т/га, кг/м<sup>2</sup>) реальный почвенный ресурс, подлежащий учету, экологическому контролю, воспроизводству (восполнению недостатка тех или иных веществ в четких, понятных для практика, единицах массы на данную площадь) и ремедиации, опять-таки с удалением четко определенного количества вредных веществ с единицы площади.

Для расчета *нормативных запасов* тех или иных веществ можно использовать систему

ПДК (предельно допустимых концентраций), ОДК (ориентировочно допустимых концентраций) и общепринятых агрохимических норм содержания веществ с учетом гранулометрического состава почв и их принадлежности к той или иной функциональной зоне мегаполиса. Наиболее жесткие нормативы (по ПДК) должны соблюдаться в соответствии с федеральным законодательством для почв, где возникает максимальный риск негативного воздействия на человека (в жилых зонах, в части общественных и водохранимых территорий). Во всех остальных зонах города допустимы менее жесткие нормативы (по ОДК), дифференцированные по дисперсности и способности почв к удерживанию загрязнителей. Так, если в производственной зоне преобладают песчаные и супесчаные почвы с высокой пропускной способностью и низким удержанием загрязняющих веществ, нормативы будут самыми жесткими, т.е. соответствовать ПДК. Но для суглинистых или глинистых почв с высокими буферными свойствами и способностью поглощать поллютанты нормативы, согласно принятым ОДК, увеличиваются в 2–4 раза.

Почвенный ресурс легко *оценивать экономически* по рыночной стоимости адекватной массы чистого плодородного грунта в нормативном слое на площади конкретного земельного участка. По закону г.Москвы «О городских почвах» нормативная мощность почвенного покрова условно равна 1 м. При средней плотности минеральной почвы порядка 1.5 г/см<sup>3</sup> на площади 1 м<sup>2</sup> в метровом слое находится около 1.5 т почвенного ресурса. В последние годы в Москве рыночная стоимость 1 т чернозема начинается от 1 тыс. руб., однако, если речь идет о замене загрязненной почвы на адекватное количество нормативно-чистого грунта с проведением соответствующих земельных и транспортных

работ, эту цифру надо минимум удвоить, т.е. в пределах типового земельного участка мегаполиса порядка 1 га почвенный ресурс стоит около 30 млн руб.

Много ли почв в Москве находится за пределами нормативного качества, например по содержанию загрязняющих веществ? К сожалению, детальных исследований, охватывающих всю почвенную толщу, не хватает для объективной ресурсной оценки текущего состояния. Мы воспользовались опубликованными данными ООО НИиПИ экологии города (2004), обобщающими результаты обязательных экологических экспертиз на предпроектных стадиях градостроительства по разным районам мегаполиса (2166 анализов). После необходимой обработки результатов получили данные о возможном превышении ПДК для некоторых тяжелых металлов 1-го и 2-го классов опасности (рис.1). В целом для мегаполиса большинство почв не исчерпало своей буферной емкости. Однако в отдельных районах, особенно в центре Москвы, более половины обследованных почв превышают нормативы по основным загрязнителям, причем для большинства из них аккумуляция свыше ПДК наблюдается во всей метровой толще и даже за ее пределами.

Очевидно, для растений важен весь объем почвенного ресурса, из которого корни могут получить необходимые элементы питания и влагу. То же можно сказать и о функции почв по очистке природных вод: чем мощнее и чище почвенный фильтр, тем меньше вероятность загрязнения подземных водоносных горизонтов. Вместе с тем для здоровья человека наибольшее значение имеет состояние самых верхних сантиметров поверхностного слоя почвы: именно там концентрируются токсичные вещества, патогенные микроорганизмы и вредные продукты их жизнедеятельности. С пылью отравленной почвы или при непосредственном кон-

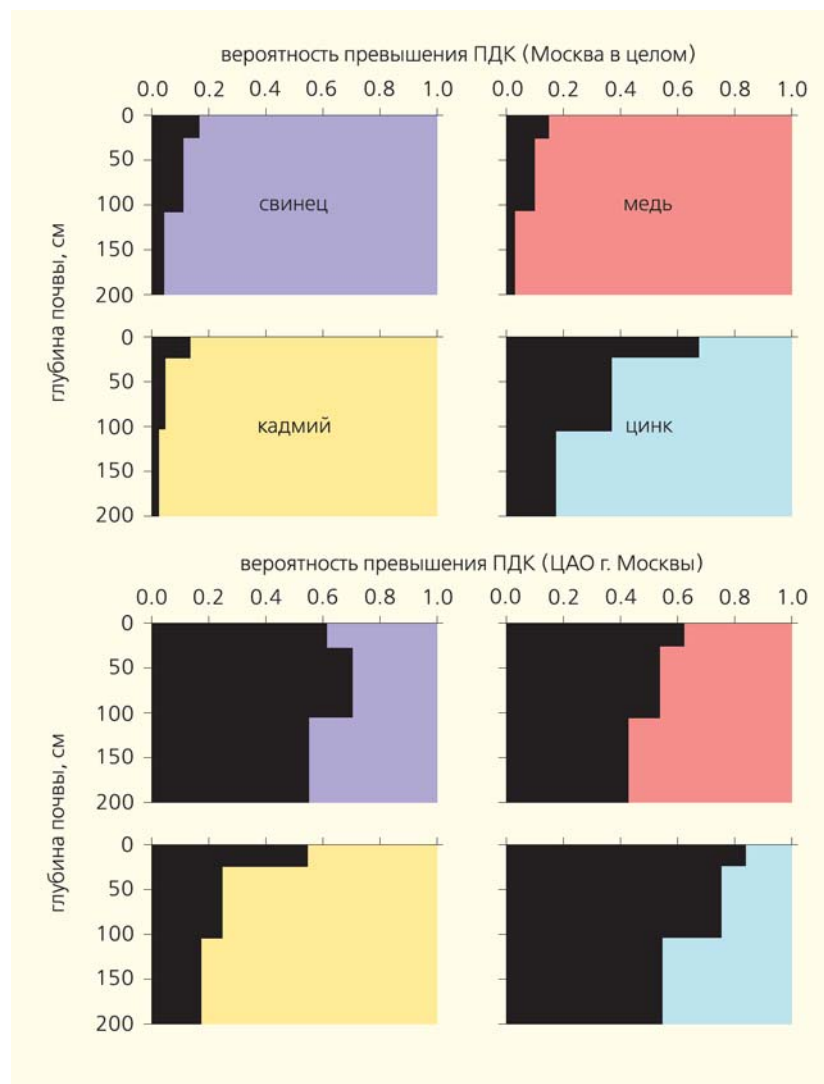


Рис.1. Вероятность техногенного загрязнения почв тяжелыми металлами.

такте они легко попадают в организм, вызывая серьезные заболевания. Значит, ресурсная оценка качества городской почвы обязательно должна включать следующие показатели: санитарно-эпидемиологические (индекс бактерий группы кишечной палочки, энтерококков, патогенных бактерий, яиц гельминтов); химического загрязнения в поверхностном 5-сантиметровом слое почвы (нефтепродукты, 3,4-бензпирен, тяжелые металлы и мышьяк); состояние радиационного фона с поверхности и общее санитарное состояние (уровень захламленности). Для всех этих показате-

лей существуют четкие нормативы в виде соответствующих федеральных гигиенических и санитарно-эпидемиологических норм и ряда разработок муниципального уровня. Вместе с тем при анализах качества почв чрезвычайно важно соблюдать правила отбора проб: исследовать отдельно приповерхностный слой 0—5 см, а не смешанные образцы из горизонта 0—20 см (как стало принятым в последние годы), поскольку это приводит к искусственному завышению санитарного состояния анализируемых объектов.

Ресурсную оценку почв необходимо проводить в границах

конкретного *земельного участка* известной площади. При этом нужно учитывать соотношение открытых и так называемых запечатанных почвенных поверхностей, находящихся под зданиями, асфальто-бетонными покрытиями и иными сооружениями. Очевидно, что запечатывание почв наряду с их полным уничтожением при строительстве зданий и прокладке коммуникаций резко сокращает почвенные ресурсы города. Уничтожение почвенного и растительного покровов резко ухудшает геоэкологическую обстановку: увеличивается загрязнение атмосферы, грунтовых и поверхностных вод, усиливаются анаэробные процессы и коррозия коммуникаций, нарушаются тепловой режим и гидрологический цикл, что приводит к техногенным катастрофам. Так, вырубка деревьев, активно транспирирующих влагу, и запечатывание испаряющей почвенной поверхности при прокладке магистралей способствует аккумуляции подземной влаги, подтоплению и разрушению фундаментов домов, возникновению оползней и провалов в почвах, в которых нарушается естественная структура. Ситуацию усугубляют многочисленные подземные коммуникации, барьеры и гидроизоляции, заменяющие рыхлые некогда почвогрунты с пропускной способностью по отношению к водным потокам.

Еще одна проблема — неадекватная замена почвенного ресурса при рекультивации. Часто минеральный почвогрунт, содержащий наиболее ценные гумусовые горизонты, под предлогом загрязнения меняют на торфяной субстрат такого же объема. При этом теряется значительная часть почвенного ресурса: торф в два-три раза легче минеральной почвы, а в дальнейшем он вообще исчезает под действием микробной деструкции, водно-ветровой эрозии или возгорания в засушливое время года. Такие факты, видимо, до сих пор не осознаются

в должной мере, иначе как объяснить, что на московском рынке почвенных материалов стоимость 1 м<sup>3</sup> торфа, на 70–80% состоящего из воздуха и связанной воды, соизмерима с ценой 1 м<sup>3</sup> чернозема или плодородной пойменной почвы.

Необходимо, чтобы каждый земельный участок мегаполиса имел *паспорт*, отражающий текущее экологическое состояние отдельных почвенных объектов и участка в целом. *Паспорт городских почв* — это часть обязательной документации к договору аренды на земельный участок и иных юридических сделок с данным землевладением. В соответствии с природоохранным законодательством землевладелец (землепользователь) несет ответственность за состояние почвенных ресурсов на вверенной ему территории, принимает меры по их воспроизводству и поддержанию в нормативном состоянии и регулярно вносит арендную плату за землю, предназначенную на осуществление охраняемых мер специальными городскими службами.

### Почвенные режимы

Одной лишь ресурсной оценки, характеризующей преимущественно твердую фазу почв, недостаточно. Для сохранения экологических функций почвы не менее важны *почвенные режимы* (температурный, водно-воздушный, солевой, кислотнo-щелочной, биологической активности и т.д.), связанные с мобильными фазами (флюидами), физическими полями и, конечно, почвенными организмами [4]. Помимо базовых характеристик, получаемых в результате проводимой раз в 7–10 лет инвентаризации городских почв, необходим более частый контроль (месяцы, недели). Здесь может помочь *автоматизированный экологический мониторинг* почвенных режимов реперных точек, равномерно распределенных по площади, с использова-

нием современных средств сбора и передачи информации о состоянии окружающей среды. Мы проводили такой мониторинг *температурного режима* почв в микрорайоне Куркино (2003–2004) и *водно-воздушного режима* в Московском зоопарке (2006–2007) с помощью программируемых гидротермических датчиков DS1921 и DS1923 (США) и электронных регистраторов веса ТН-312 [4, 5].

Температурный мониторинг в микрорайоне Куркино в холодный период года выявил отличия, связанные с приуроченностью почвы к той или иной функциональной зоне (рис.2). В рекреационной зоне (в пойме р.Сходни, в парке «Березовая роща») с естественным почвенным покровом температура верхнего слоя почвы (5 см) не снижалась за 0°C в течение всей зимы, а в более глубоких (10–20 см) слоях оставалась положительной, 0,5–1°C. В районе новостроек нарушенные почвы промерзали в верхнем 5-сантиметровом слое до –0,5°C начиная с конца декабря, в слое 10–20 см — с первой декады января, оставаясь в таком состоянии до начала апреля несмотря на многочисленные оттепели. Такие отличия, видимо, связаны с нарушением естественной рыхлости почвы и небольшим снеговым покровом (или его отсутствием). Длительное промерзание почвы негативно повлияло на зеленые насаждения, и в первую очередь — на газоны и цветники, где корневая система растений неглубокая.

Еще более важен для нормального функционирования почв их водно-воздушный режим. Для его мониторинга мы предлагаем использовать единый показатель — степень насыщенности влагой  $W/W_s$  ( $W$  — текущая влажность почвы,  $W_s$  — влажность в состоянии полного насыщения почвы влагой). Если этот показатель приближается к 0, диагностируется засуха (недостаток влаги), а если стремится к 1 — избыток влаги и недо-

статок воздуха (рис.3). Более точно градации  $W/W_s$  дифференцированы в зависимости от дисперсности почвы и ее водоудерживающей способности (рис.4). В начале весны почвы мегаполиса периодически переувлажняются, а летом часто высыхают. Так, в засушливом 2007 г. в Москве значительная часть газонов и цветников погибла из-за недостатка влаги и регулярного сенокосения — таков шаблонный подход к содержанию газонов (рис.5). Уничтожение надземной фитомассы в период засухи равносильно гибели растения, поскольку достать воду из глубоких слоев оно не может из-за отсутствия так называемого «верхнего концевое двигателя» — транспирации водяного пара с листовой поверхности.

Температурный и водно-воздушный режимы во многом контролируют биологическую активность, темпы биодеструкции в почвах и связанную с ними газовую функцию. Для любой почвы имеется область гидротермического оптимума, где интенсивность биологических процессов максимальна [2]. Для разных почв эта область может варьировать как по ши-

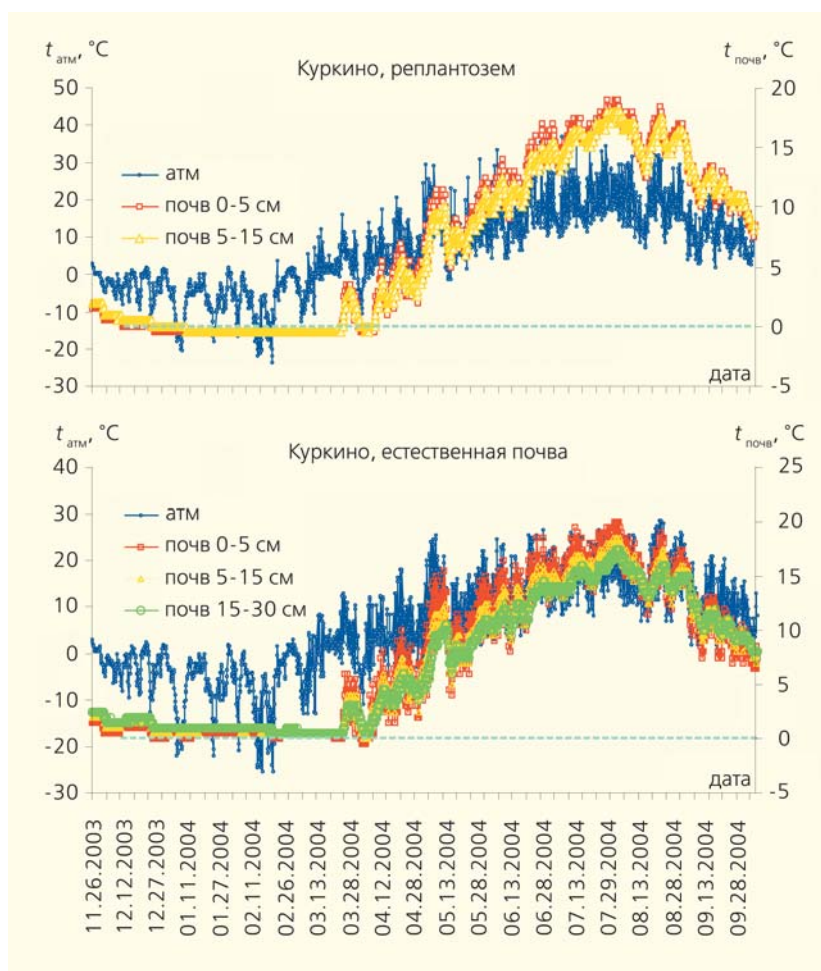


Рис.2. Мониторинг температурного режима в микрорайоне Куркино в 2003—2004 гг.

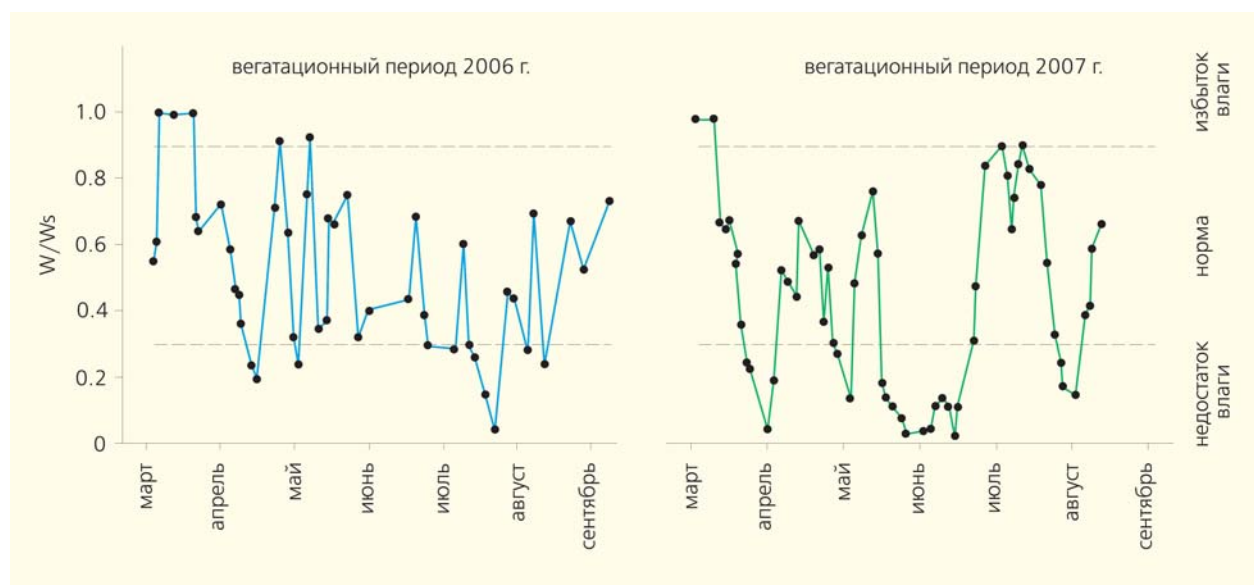


Рис.3. Мониторинг водно-воздушного режима корнеобитаемого слоя грунта под травяным газоном (Московский зоопарк, 2006—2007 гг.).

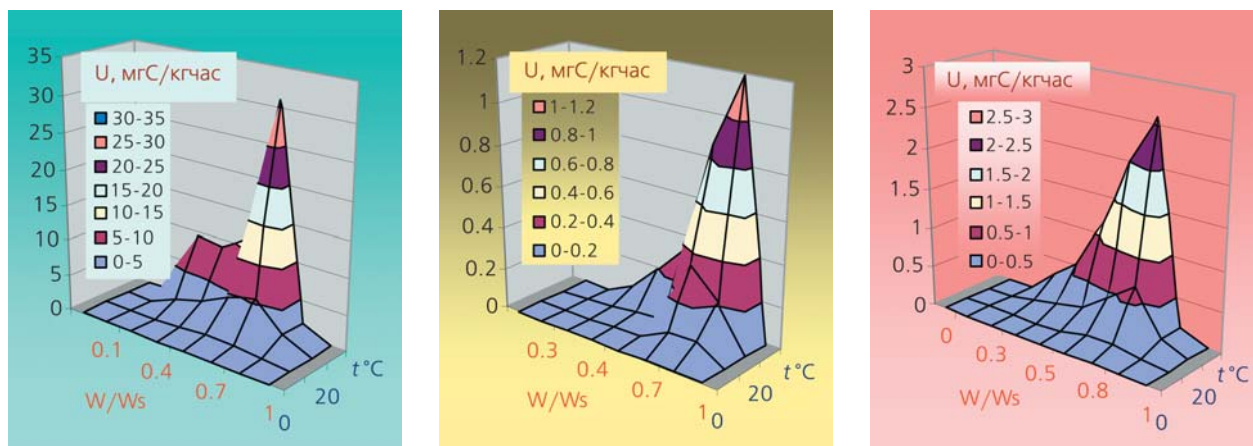


Рис.4. Скорость биодеструкции органического вещества и эмиссия CO<sub>2</sub> в различных почвенных объектах в зависимости от температуры и влажности. Слева — торф (30 см) в Томской обл., в середине — дерново-подзолистая почва (5 см) в Московской обл., справа — типичный чернозем (5 см) в Липецкой обл.



Рис.5. Внешний вид нетронутой травянистой растительности (вверху) и скошенных газонов вдоль МКАД в начале июня 2007 г., когда в городе была длительная засуха.

рине (диапазону толерантности), так и по расположению максимумов биологической активности. Значит, можно регулировать функции городских почв, управляя их водно-воздушным и температурным режимами (поливы, дренаж, мульчирование, экранирование постройками), а также подбором необходимых почвенных материалов. Например 5%-я смесь песка с органогенным почвомодификатором Arid Grow поглощает угарный газ, как и чернозем (рис.6). При этом максимум поглощения смещается в область с меньшим содержанием влаги, т.е. смесь будет достаточно активна и в засушливый период, когда действие микрофлоры чернозема и других природных почв подавлено недостатком влаги. Следующий пример касается образования пыли с поверхности почв. Как показывают эксперименты, интенсивность пыления под действием ветра во многом зависит от влажности почвы (рис.7). Больше всего пыли возникает при уменьшении влаги до 20%. Тогда растительность погибает и почва оказывается полностью незащищенной от ветровой эрозии.

Среди других негативных для функционирования городских почв факторов надо отметить

переуплотнение и засоление придорожных территорий электролитами (противогололедными препаратами). Так, в конце 90-х годов именно техническая соль привела в Москве к массовой гибели растений. Тогда вдоль московских дорог уровень засоления достигал величины электропроводности порового раствора (этот показатель удобно использовать в качестве интегральной характеристики), т.е. 4–8 дСм/м и более, что в природе свойственно лишь аридным приморским территориям [6]. В таких условиях растительность гумидного климата не выживает. Сегодня ситуация с противогололедными средствами постепенно исправляется: все чаще на тротуарах и дорогах мы видим щебень, безвредный для почв и растений. Практикам жилищно-коммунального хозяйства и озеленения следует понять, что не только техническая соль, но и любые химические средства борьбы с гололедом наряду с неумеренным употреблением минеральных удобрений наносят непоправимый ущерб почвенному и растительному покрову города. Причина — в связывании влаги при гидратации молекул электролитов и в формировании дополнительного осмотического давления, зачастую превышающего корневой потенциал обычных растений (порядка 10–15 атм) [7].

### Система менеджмента

Ресурсная оценка экологического состояния городских почв наряду с мониторингом мобильных почвенных режимов позволяет выявлять основные почвенно-экологические проблемы и оперативно решать их с использованием современных технологий и средств обработки, рекультивации и ремедиации почв. Все эти мероприятия должны быть положены в основу системы охраны и менеджмента городских почвенных объектов, которая в настоящее

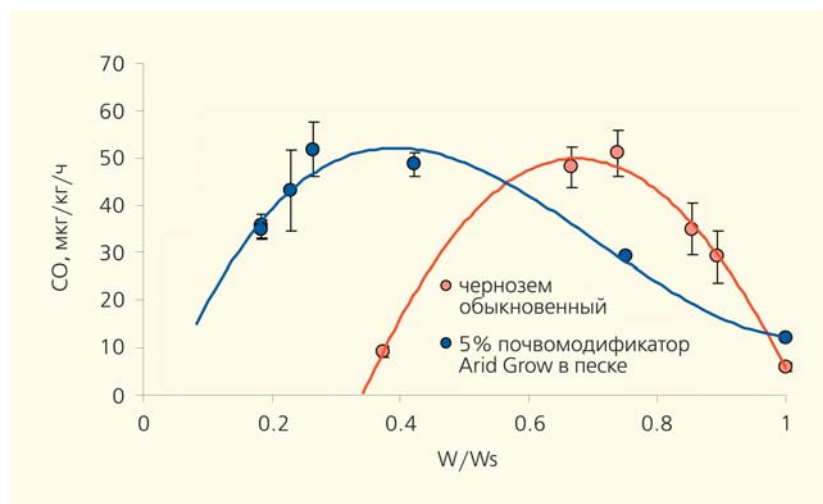


Рис. 6. Зависимость поглощения CO<sub>2</sub> от содержания почвенной влаги.

время только формируется. В качестве прототипа подобной системы мы разработали пилотную версию общегородской автоматизированной информационной системы (АИС) для паспортизации почвенных объектов, ведения реестра и подбора практических рекомендаций. АИС включает структурные блоки: входной информации (ввод и корректировка данных); ее хранения (базовые данные почвенных ресурсов и технологий обработки); рекультивации и ремедиации почв; основной функциональный блок (где осуществляются обработка данных и их выдача пользователю) и,

наконец, блок выходной информации, где главную позицию занимает паспорт земельного участка г.Москвы. При выявлении той или иной проблемы автоматически выписываются GPS-координаты для локализации неблагополучного участка и подбираются оптимальные технологии для решения проблемы с калькуляцией ориентировочной стоимости работ (соответственно рыночным расценкам и данным об объеме почвы в слое, подлежащем рекультивации на известной площади).

В качестве примера приведем фрагменты подобной авто-

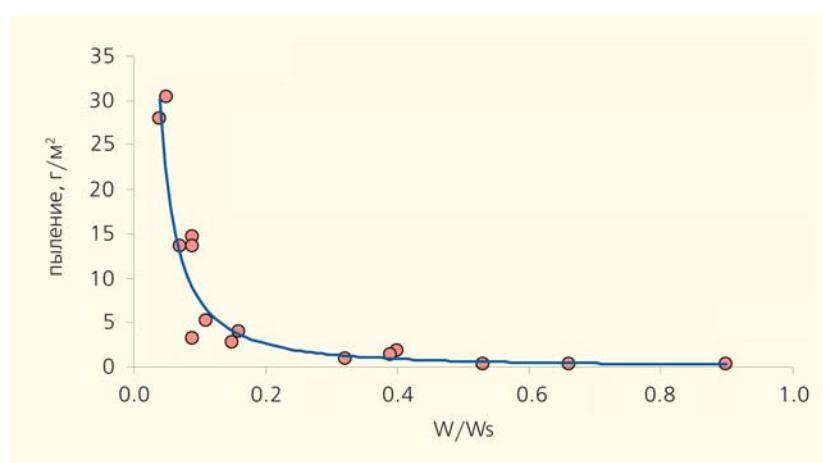


Рис. 7. Зависимость пыления от степени насыщенности влагой природных почв Подмосквы и урбаноземов (УОПЭЦ МГУ «Чашниково», 2008).

**Таблица**

**Фрагмент автоматизированной оценки земельного участка кинотеатра «Прага»**

Инвентаризационный номер: 200800001

Дата инвентаризации: 08.12.2008

Кадастровый номер: 77:09:04019

Административный округ: САО

Район: Савеловский

Тип функционального назначения участка: культурно-просветительные

Общая площадь участка: 1.5

Площадь открытых почв участка: 0.68

Площадь запечатанных почв участка: 0.82

Радиационное загрязнение: не выявлено

Общее санитарное состояние территории: умеренно-опасное

Общее экологическое состояние почвенного ресурса участка: норма

Угроза здоровью населения: сильная

Степень экологического риска для пограничных сред: отсутствует

Землепользователь: Префектура САО

Организация, выполнившая обследование: АНО «ЭкоТерра»

Дата обследования: 15.08.2005

**Типы доминирующих почв и их экологическое состояние**

Название, грансостав, приуроченность к функциональному элементу участка	Доля, %	Биоресурсный потенциал	Негативные техногенные санитарно-эпидемиологические факторы		
			Степень уплотнения	Степень засоления	Категория загрязнения
урбанозем, легкий суглинок, сквер	100	высокий	слабое уплотнение	норма	умеренно-опасная

**Опасность заражения патогенными организмами**

	нет заражения	заражение	GPS
Доля, %		100	55°47'32.90"с.ш., 37°44'43.39"в.д. 55°47'35.06"с.ш., 37°34'43.01"в.д. 55°47'36.37"с.ш., 37°34'39.28"в.д.

**Степень загрязнения нефтепродуктами**

	нет загрязнения	загрязнение	GPS
Доля, %		100	55°47'32.90"с.ш., 37°44'43.39"в.д. 55°47'35.06"с.ш., 37°34'43.01"в.д. 55°47'36.37"с.ш., 37°34'39.28"в.д.

**Степень захламленности**

	нет захламления	захламление	GPS
Доля, %		100	55°47'32.90"с.ш., 37°44'43.39"в.д. 55°47'35.06"с.ш., 37°34'43.01"в.д. 55°47'36.37"с.ш., 37°34'39.28"в.д.

**Позитивные ресурсные компоненты**

Доля, %	Р/Н	Запасы веществ			
		С кг/м <sup>2</sup>	N г/м <sup>2</sup>	P г/м <sup>2</sup>	K г/м <sup>2</sup>
100	P	18.6	196.3	147.1	563.4
	H	8.0	80.0	120.0	160.0

**Негативные ресурсные компоненты**

Доля, %	Р/Н*	Запасы загрязняющих веществ, г/м <sup>2</sup>						
		Pb	Cd	Hg	Zn	As	Si	Ni
100	P	44.7	0.6	0.5	126.8	7.1	39.0	24.9
	H	100.0	2.0	6.0	170.0	8.0	100.0	60.0

\* P – реальность, H – норма.

матизированной оценки для небольшого, однородного в почвенном отношении земельного участка «кинотеатр “Прага”» (табл.). Как видно из результатов инвентаризации, площадь открытых и запечатанных участков приблизительно одинакова. На территории этого культурно-

просветительного объекта в 1 м толщии почвы легкосуглинистые. Это позволяет использовать не самые жесткие нормативы качества, рассчитанные по ОДК. Обследованный участок оказался не столь загрязненным тяжелыми металлами и мышьяком — опасными веществами, требую-

щими серьезных затрат на рекультивацию. Основная проблема участка — неблагоприятное санитарно-эпидемиологическое состояние и сверхнормативное загрязнение нефтепродуктами. Поэтому в заключении отмечается умеренно опасная категория загрязнения и сильная угроза здоровью насе-

ления. Однако здесь не требуется вывоз и замена почвогрунта (как это, кстати, было сделано по результатам обследования участка в 2005 г.), можно обойтись нетрудоемкими и относительно дешевыми дезинфекцией и биодеструкцией *in situ*. Стоимость таких операций с учетом площади участка не превышает 20–30 тыс. руб., тогда как замена почвогрунта обходится в сотни тысяч.

Сохранить почву на участке следует не только из-за малого загрязнения, но и из-за высокого биоресурсного потенциала. Здесь запасы основных биофильных элементов в два раза и более превышают нормативы. Замена якобы некачественной почвы на облегченную торфосмесь вызовет очевидную потерю значительного запаса элементов минерального питания на этом участке.

Небольшие и традиционные для города проблемы захламления поверхности, уплотнения, слабого засоления и защелачивания также решаются недорогими технологиями: уборкой территории, механическим рыхлением верхнего слоя с помощью мини-техники и последующей промывкой подкисленной водой из поливальных машин. Подобные меры помогут избавиться от переизбытка калия, что само по себе возможно, хотя четких нормативов по верхнему пределу содержания полезных элементов в городских почвах нет.

Как видно, предложенный подход к инвентаризации почв земельных участков г.Москвы позволяет достаточно объективно и оперативно оценить качество и количество почвенных ресурсов, а также подобрать оптимальные решения по

участку с рекомендациями ответственным землепользователям и организациям, задействованным в сфере экологического сервиса. Доведение пилотной версии АИС до полномасштабной нормативной базы муниципального уровня и ее внедрение в практику поможет улучшить экологическую обстановку в мегаполисе при значительной экономии капиталовложений. Использование дифференцированных по функциональным зонам критериев и нормативов качества городских почвенных объектов означает перевод системы управления экологическим состоянием и функциями почв в городе на уровень стандартов, принятых в современной мировой практике, при сохранении отраженных в федеральном законодательстве России высоких требований к качеству почв. ■

## Литература

1. Хильми Г.Ф. Биогенные превращения энергии и их экологическое значение // Проблемы оптимизации в экологии. М., 1978. С.159–175.
1. Почва, город, экология / Ред. Г.В.Добровольский. М., 1997.
2. Смагин А.В. Газовая фаза почв. М., 2005.
3. Soils: Basic Concepts and Future Challenges. Cambridge, 2006.
4. Смагин А.В., Шоба С.А., Макаров О.А. Экологическая оценка почвенных ресурсов и технологии их воспроизводства (на примере г.Москвы). М., 2008.
5. Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Глаголев М.В., Кириченко А.В. Новые инструментальные методы и портативные электронные средства контроля экологического состояния почв и сопредельных сред // Экологический вестник Северного Кавказа. 2006. Т.2. №1. С.5–17.
6. Maas E.V., Hoffman G.J. // J. Irrig. Drain. Div. 1977. V.103. P.115–134.
7. Суднищын И.И. Экологическая гидрофизика почв. М., 1995.
7. Экологические функции городских почв. М.; Смоленск, 2004.



# Глубоководное научное бурение в океане: структура, итоги, планы

А.Г.Матуль

Уже полстолетия ведутся работы по глубоководному научному бурению в океане. Это единственный способ получить надежную вещественную информацию о глубинном строении и истории океанской земной коры. Советская и российская морская геология могут гордиться результатами участия как минимум двух поколений отечественных ученых в программах научного бурения DSDP («Deep Sea Drilling Program») и ODP («Ocean Drilling Program»). Нынешняя программа IODP («Integrated Ocean Drilling Program») проходит без российского участия, но руководство IODP настойчиво приглашает нашу страну к международному сотрудничеству в глубоководном бурении.

Истоки научного океанского бурения связаны с промышленным бурением скважин на дне моря для разведки и добычи нефти и газа, которое началось около 110 лет назад [1]. Первая нефтедобывающая скважина под морской водой пробурена в 1897 г. с пирса в проливе Санта-Барбара у побережья Калифорнии. В конце 19-го столетия в Азербайджане тоже готовили проект бурения морских скважин, но денег на него получить не смогли. На территории бывшего СССР первая морская скважина была заложена в 1925 г.



*Александр Геннадьевич Матуль, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией палеоэкологии и биостратиграфии Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН. Область научных интересов — палеоокеанология, палеоклимат, биостратиграфия, микропалеонтология (анализ радиолярий — кремневых микрофоссилий).*

в Каспийском море с насыпного острова в бухте Ильича около Баку, давшая нефть с глубины 461 м. В Мексиканском заливе в конце 1930-х годов появились прибрежные платформы, закрепленные на мелководном дне, а в конце 1940-х — автономные плавучие буровые установки вне видимости с берега. Первые буровые суда современного типа, оборудованные сначала ручными, а затем и автоматическими системами динамического позиционирования, которые позволили бурить на больших глубинах, стали испытывать в конце 1950-х и строить в 1960-х годах. Сейчас на ультрабольших глубинах моря — более 2000 м — работают десятки буровых судов и платформ. Их крупнейший держатель — компания «Transocean Ltd» [2]. Судам этой компании принадлежит большинство рекордов промышленного бурения, в том числе максимальная длина скважины под морским дном — 12 289 м, заложенная с мелководной буровой платформы у побережья Омана, и максимальная глубина моря — 3051 м, достигнутая с ультраглубоководного бурового судна «Discoverer Deep Seas» в Мексиканском заливе. К числу новейших и наиболее продвинутых в техническом отношении судов компании «Transocean Ltd» относится буровое судно «Discoverer Clear Leader», способное работать на глубинах моря до 3650 м и бурить скважины длиной до 12 200 м. Для работы в тяжелых климатических условиях используются два внешне сходных ультраглубоководных буровых судна, принадлежащих компании «Stena Drilling Ltd» [3]: в субполярном климате Норвежского и Баренцева морей работает судно «Stena DrillMAX», а в арктических льдах толщиной до 2.2 м — «Stena DrillMAX ICE». Оба могут бурить скважины длиной до 10 500 м при глубине моря до 3000 м.

© Матуль А.Г., 2010

Кроме буровых судов, для промышленного бурения строят ультраглубоководные платформы. Крупнейшая из них на сегодня — «Independence Hub», принадлежащая компании «Anadarko», — эксплуатируется на газовых месторождениях подводного каньона Миссисипи в Мексиканском заливе при глубине моря до 2400 м. Она закрепляется на дне двенадцатью якорными блоками через систему тросов из полиэстера диаметром около 20 см [4]. Самые крупные самоходные ультраглубоководные платформы-близнецы «Eirik Raude» и «Leiv Eiriksson» принадлежат норвежской компании «Ocean Rig ASA» [5]. На глубинах до 400 м они закрепляются на дне восемью якорными блоками через стальные цепи толщиной 84 мм, а при глубине моря до 3000 м используют динамическое позиционирование. Обе платформы испытаны в субполярных условиях у североатлантического побережья Северной Америки и в Баренцевом море. Постройка буровых судов и платформ субполярного и полярного класса — логичная реакция мирового нефтегазового бизнеса на возможность разработки углеводородных месторождений на континентальных склонах и шельфах Арктики.

Особого упоминания заслуживает принадлежащее компании «Transocean Ltd» ультраглубоководное буровое судно «GSF Explorer» («Glomar and Santa Fe Explorer»), ранее известное под именем «Hughes Glomar Explorer» [6]. В 1979 г. Национальный научный фонд США предлагал использовать его для научного бурения океанского дна, но финансирования не получил. Судно «Hughes Glomar Explorer» построено в 1973 г. и официально предназначалось для Глубоководного горнодобываю-



«Stena DrillMAX ICE» — полярный флагман морского бурового флота.

[www.stena-drilling.com](http://www.stena-drilling.com)

щего проекта по разработке залежей металлоносных конкреций с поверхности дна Тихого океана. Этот проект служил для ЦРУ США прикрытием операции «Project Azorian» («Азорский проект») по подъему советской дизель-электроходной подводной лодки К-129, затонувшей в 1968 г. с ядерными торпедами и ракетами на глубине 5200 м в 750 милях к северо-западу от Гавайских о-вов.



«Independence Hub» — крупнейшая в мире ультраглубоководная буровая платформа, закрепляемая на дне моря.

[www.anadarko.com](http://www.anadarko.com)



«Eirik Raude» — крупнейшая в мире самоходная глубоководная буровая платформа.

[www.ocean-rig.com](http://www.ocean-rig.com)



«Hughes Glomar Explorer» — легендарное буровое судно, работавшее на подъеме советской подводной лодки К-129, затонувшей в 1968 г.

[www.asme.org](http://www.asme.org)

Операция прошла в июле 1974 г. и завершилась поднятием фрагмента подводной лодки с двумя торпедами, шифровальным оборудованием, а также несколькими телами погибших советских подводников, которые были со всеми воинскими почестями похоронены с палубы «Hughes Glomar Explorer». Сейчас буровое судно «GSF Explorer» занимается разведочным бурением на морских нефтяных месторождениях Анголы.

В начале 1950-х годов выдающийся американский геофизик и океанограф Морис Юинг высказался насчет необходимости бурения дна океана для получения сведений о происхождении и строении земной коры. Проведение Международного геофизического года в 1957—1958 гг. привело к практическому воплощению этой идеи: в 1958 г. Национальный научный фонд США выделил первый грант на программу научного океанского бурения (проект «Mohole») [7]. Ее основателями стали морские геологи Г.Хесс и У.Мунк, горный инженер У.Баском, специалист-исследователь ВМС США Г.Лилль, а также сам М.Юинг. Проект «Mohole» — как ответ наук о Земле на космическую программу — ставил своей целью изучить возраст Земли, ее внутреннее строение и процессы, найти опровержение или подтверждение теории дрейфа континентов, которая в то время активно обсуждалась. Для этого намеревались пробурить земную кору до границы Моховичича — предполагаемого раздела коры и верхней мантии, обоснованного по сейсмологическим параметрам и залегающего на глубине от 5 до 70 км под поверхностью Земли.

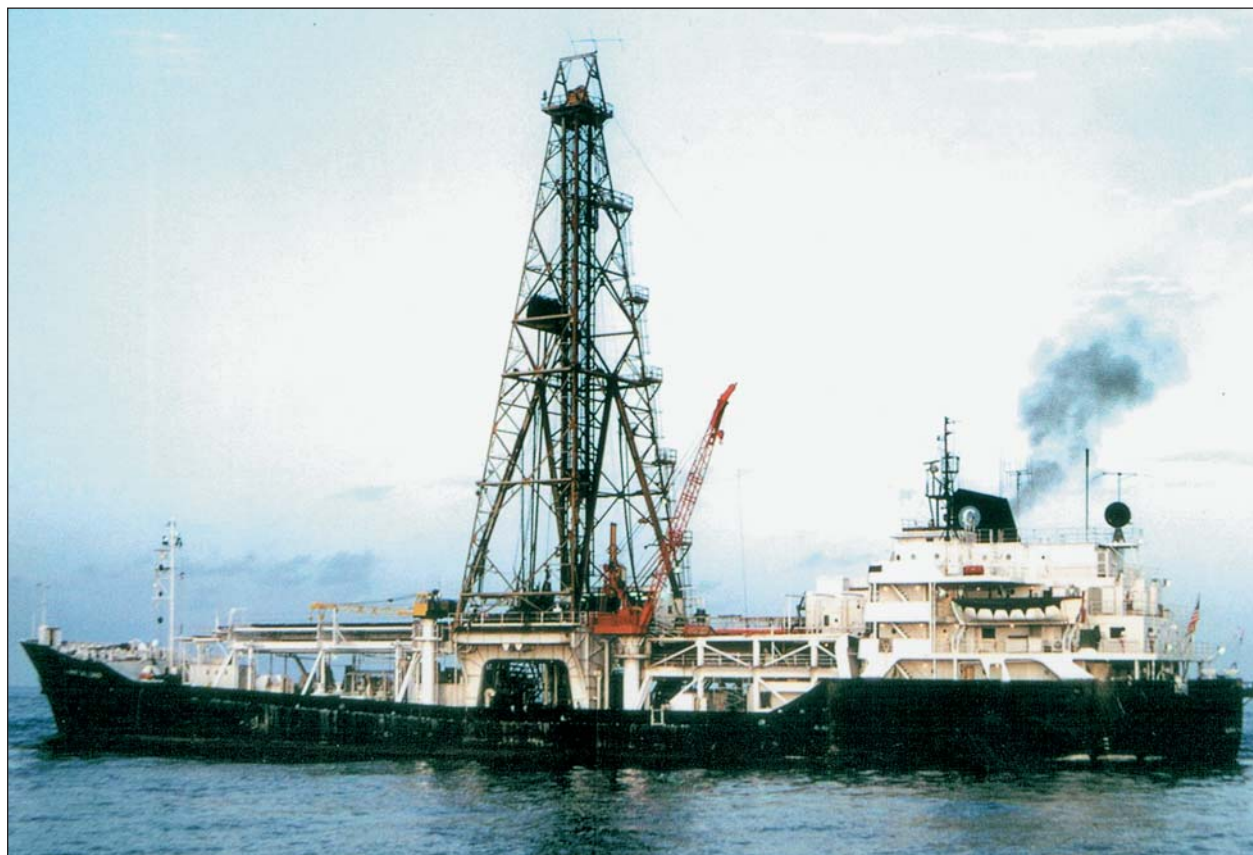
По проекту «Mohole» в марте—апреле 1961 г. пробурили пять пробных скважин у мексиканского о.Гуадалупе напротив побережья Калифорнии. Использовалось буровое судно «CUSS-I», переоборудованное из военно-морской баржи и применявшее систему динамического позиционирования (удержания судна от смещения и вращения) с помощью ручного управления по сигналам с притопленных сонаров. Одна из скважин при глубине моря 3500 м прошла 167 м осадочного чехла миоценового возраста (до 23 млн лет) и на 13 м вошла в океанский фундамент, представленный здесь базальтами — эффузивными магматическими породами основного состава (содержание двуокиси кремния 40—52%). Базальты извергаются и кристаллизуются на поверхности Земли при спрединге (раздвижении, растяжении) на границах литосферных плит. Морские базальты часто имеют подушечную отдельность, которая образуется в результате быстрого охлаждения водой поверхности лавового потока: поступающая магма приподнимает сформировавшийся панцирь, вытекает из-под него и образует следующую «подушку». Однако в 1966 г. Конгресс США прекратил финансирование проекта «Mohole», посчитав его технологическую часть слишком затратной. Тем не менее для получения геологической информации он раскрыл громадный потенциал глубоководного бурения.

Параллельно с проектом «Mohole» проходили и другие, хотя и менее амбициозные работы по научному бурению в океане [8]. В 1962 г. один из

основателей современной неоген-четвертичной палеоокеанологии Ч.Эмилиани начал проект LOCO («Long Cores») для изучения природной истории Карибского бассейна в неогене (последние 23 млн лет), когда на Земле стали повторяться материковые оледенения. У о.Ямайка в 1963 г. небольшое буровое судно «Submarex» заложило скважину длиной 55 м на глубине моря 610 м. В рамках LOCO был создан научный консультативный комитет, ставший прообразом и основой для научной структуры JOIDES (Joint Oceanographic Institutions for Deep Earth Sampling). Такая структура была организована в 1964 г. ведущими американскими институтами по морской геологии и океанографии и на несколько десятилетий стала органом планирования и управления научным глубоководным бурением. В 1965 г. JOIDES предприняла бурение на плато Блэйк у Флориды — погруженном блоке континентального склона, покрытом мощным осадочным чехлом. На глубинах моря до 1000 м с борта судна «CaGrill» пробурили несколько скважин, которые принесли информацию об истории тектонического погружения атлантической континентальной окраины США за последние 70 млн лет.

Успехи проектов бурения «Mohole», LOCO и на плато Блэйк позволили Национальному научному фонду (ННФ) США в 1963 г. обратиться в Конгресс США с обширной программой — «Ocean Sediment Coring Program». В 1965 г. ее финансирование было одобрено. ННФ подписал контракт с Океанографическим институтом Скриппса и рядом университетов на выполнение проекта глубоководного бурения «Deep Sea Drilling Project» (DSDP). В середине 1968 г. вступило в строй научное буровое судно «Glomar Challenger», спроектированное, как и «Hughes Glomar Explorer», компанией «Global Marine, Inc.» и названное по имени знаменитого британского исследовательского судна XIX в. «HMS Challenger».

В ходе осуществления проекта DSDP (1968—1983) было проведено 96 экспедиций — от Норвежского моря (76.1°с.ш.) до моря Росса (77.4°ю.ш.), пробурено 624 скважины, достигнута максимальная глубина бурения 1741 м при наибольшей глубине моря 7044 м [9]. Третий рейс DSDP, проходивший в Южной Атлантике поперек Срединно-Атлантического хребта, дал выдающиеся научные результаты: было установлено, что океанская литосфера увеличивает свой возраст



«Glomar Challenger» — буровое судно, действовавшее по проекту научного глубоководного бурения DSDP в 1968—1983 гг.

[www.deepseadrilling.org](http://www.deepseadrilling.org)

по мере удаления от осевой части хребта в обе стороны, а тем самым подтверждена теоретическая модель спрединга, разработанная в рамках новой тогда гипотезы тектоники литосферных плит. Кроме достижения результатов в области фундаментальной науки проект DSDP позволил развивать научные технологии. Так, в 1978 г. начали применять усовершенствованную гидравлическую поршневую трубку, которая помещается внутрь стандартной буровой трубы и поднимает ненарушенные мягкие осадки из верхней части нелитифицированной толщи. Этот метод отбора донных отложений значительно увеличивает полноту и качество геологической информации.

Научная репутация советских морских геологов была столь высока, что их пригласили в один из первых рейсов DSDP. Так, в шестом рейсе, проходившем в июне—августе 1969 г., участвовали А.П.Лисицын из Института океанологии им.П.П.Ширшова АН СССР и В.А.Крашенинников из Геологического института АН СССР. По программе этого рейса изучалась геологическая история дна в Марианской котловине — районе с очень древней океанской корой (юра — ранний мел, ~180—140 млн лет). Начиная с 1972 г. (24-го рейса DSDP) 30 отечественных ученых были задействованы в большинстве рейсов глубоководного бурения (всего в 32 из 48 [10]).



«JOIDES Resolution» — буровая платформа, работавшая по программе ODP в 1985—2003 гг., а по программе IODP работает с 2003 г. по настоящее время.

[www.oceanleadership.org](http://www.oceanleadership.org)

В 1973 г. Академия наук СССР была приглашена в состав структуры JOIDES (представлена Институтом океанологии им.П.П.Ширшова). С 1974 г. наша страна на полноправной основе (с финансовым взносом) вошла в проект DSDP; в 38-й экспедиции, проходившей в Норвежском море, соруководителем был Г.Б.Удинцев из Института океанологии им.П.П.Ширшова. В дальнейшем советские ученые в качестве соруководителей принимали участие еще в трех рейсах DSDP. Представители СССР (от академических институтов, министерств геологии, газовой промышленности и др.) работали почти во всех руководящих, планирующих и консультативных комитетах JOIDES — управляющей структуры DSDP. В 1975 г. проект DSDP, проводившийся ранее в основном усилиями США, стал международным, объединив ученых США, Советского Союза, Великобритании, Франции, ФРГ, Японии и получив название IPOD (International Phase of Ocean Drilling).

В конце 1970-х — начале 1980-х годов Национальный научный фонд США пытался развить программу «Ocean Margin Drilling» (OMD), предназначенную для изучения осадочных толщ на континентальных окраинах Америки и Африки, однако в ней не могли участвовать никакие страны, помимо США. Бурение должно было вести судно «Hughes Glomar Explorer», но американские нефтяные компании и администрация США от высокозатратного на тот момент финансирования OMD отказались.

После завершения DSDP мировые научные круги активно выступили за продолжение программы глубоководного бурения. Промышленный кризис начала 1980-х годов позволил ННФ по выгодной цене арендовать буровое судно «BP/Sedco 471», переименованное в «JOIDES Resolution» — по имени британского судна «HMS Resolution», на котором капитан Джеймс Кук в XVIII в. совершал свои плавания. Судно «JOIDES Resolution» относится к судам нерайзерного типа: у него отсутствует внешняя труба (riser), в которую обычно заключена буровая трубка; буровая жидкость, подаваемая по буровой трубке, и буровой шлам выходят из обсадной трубы в скважине прямо на поверхность дна вокруг точки бурения.

Международная программа научного бурения «Ocean Drilling Program» (ODP) проходила в 1985—2003 гг.: по ней проведено 110 экспедиций от Арктики на 80.5°с.ш. до моря Уэдделла на 70.8°ю.ш.; пробурено 1797 скважин, достигнута максимальная глубина бурения 2111 м при наибольшей глубине моря 5980 м [11]. Членами ODP были США (основной участник) и еще 22 страны, часть из которых объединялась в консорциумы (например, Консорциум по бурению Европейского научного фонда и Тихоокеанский консорциум). В 1991—1993 гг. в программе ODP участвовал СССР/Россия: 17 российских ученых работали в 138—146-м рейсах, а соруководителем экспеди-

ции в 145-м рейсе, проходившем в северо-западной части Тихого океана, был И.А.Басов из Института литосферы РАН. Научное руководство и планирование возлагалось на JOIDES. Исполнительной структурой бурения была некоммерческая компания JOI («Joint Oceanographic Institutions, Inc.»), а основным исполнителем научных работ — Университет штата Техас.

С 2003 г. действует международная программа научного бурения «Integrated Ocean Drilling Program» (IODP), по которой на данный момент уже проведено 25 экспедиций и пробурено около 105 скважин [12]. Применяются буровые платформы «JOIDES Resolution», а с 2007 г. «Chikyu Hakken» (Япония), оснащенные и работающие как плавучие научные институты. На платформе «Chikyu» достигнута максимальная глубина бурения — около 1500 м и наибольшая при бурении глубина моря — около 4000 м. Эта платформа относится к райзерному типу, т.е. имеет дополнительную внешнюю трубу вокруг буровой. По ней буровая жидкость и буровой шлам отводятся на палубу судна для последующего сбора и утилизации. На нижней части райзера установлена система автоматических клапанов, которые стравливают излишнее давление буровой жидкости и газов, вырывающихся из скважины. Первое пробное бурение с райзером на «Chikyu» прошло в 2009 г.

В дополнение к этим двум буровым платформам программа IODP использует и другие суда — для бурения в особых условиях, например на мелководных прибрежных участках и в Арктике. Наймом и применением дополнительных буровых судов и платформ MSP (Mission-Specific Platforms) занимается Британская геологическая служба, действующая в рамках научно-организационной структуры ESO (ECORD Science Opera-



«Chikyu Hakken» — буровая платформа программы научного глубоководного бурения IODP, действующая с 2007 г. по настоящее время.

[www.jamstec.go.jp/»Chikyu»/eng/»CHIKYU»/index.html](http://www.jamstec.go.jp/»Chikyu»/eng/»CHIKYU»/index.html)

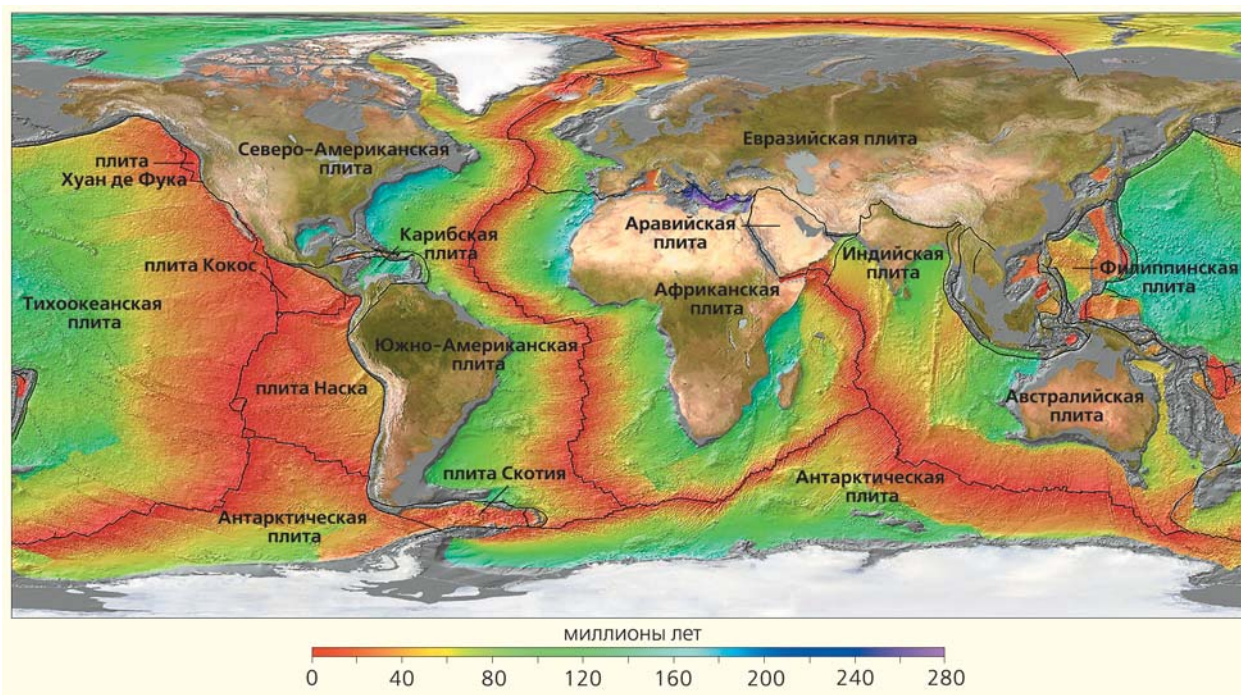
tor) Европейского консорциума по океанскому бурению ECORD (European Consortium for Ocean Research Drilling) [13].

Европейский стратегический форум по исследовательским инфраструктурам (ESFRI) вышел с инициативой разработки бурового ледокольного судна [14]. Создан консорциум «ERICON “Aurora Borealis”» (European Research Icebreaker Consortium — Европейский исследовательский ледокол



«Aurora Borealis» — проектируемый европейский буровой ледокол для научного бурения в Арктике.

[www.eri-aurora-borealis.eu](http://www.eri-aurora-borealis.eu)



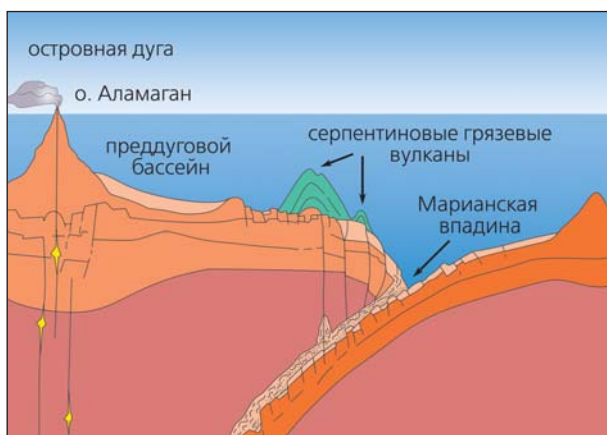
Литосферные плиты и возраст океанской коры по данным глубоководного бурения и других проектов.

[www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/crustalimages.html](http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/crustalimages.html)

«Аврора Бореалис»), в котором представлены 15 научных организаций и программ из 10 европейских стран (в том числе Арктический и антарктический научно-исследовательский институт из Санкт-Петербурга). В 2012–2014 гг. планируется построить ледокольное буровое судно «Augora Borealis», способное работать в Арктике при толщине льда более 2 м и бурить скважины длиной более 1000 м на глубине моря 100–5000 м. Таким образом, будет создан научный инструмент для изучения геологической истории громадного «бе-

лого пятна» нашей планеты — Северного Ледовитого океана.

В реализации программы IODP участвуют 24 страны; два главных финансирующих органа — Национальный научный фонд США и Министерство Японии по образованию, культуре, спорту, науке и технологиям. На содержание буровых платформ, проведение буровых и научных работ ежегодно предполагается направлять около 150 млн долл. США; полный ежегодный взнос для участия в IODP составляет 5,6 млн долл. Страны-члены IODP имеют право: участвовать в каждом рейсе бурения; быть представленными в каждом планирующем и консультативном комитете; иметь доступ ко всем инженерным планам и данным, к образцам кернов, научным и техническим результатам, а также ко всем геофизическим и другим данным предварительного изучения точек бурения; подавать заявки на экспедиции и инженерные разработки; быть представленными в Совете IODP. Важно отметить, что полный доступ ко всем научным и инженерным данным открыт для всех членов IODP независимо от величины ежегодного взноса. Центральный управляющий орган этой программы — IODP-MI (Management International) — координирует совместные усилия ее участников по выполнению годовых планов. Структура научного планирования (Science Advisory Structure) включает ряд панелей и комитетов, которые составляют и обсуждают годовой план, отбирают проекты бурения и консультируют IODP-MI.



Серпентиновые «грязевые» вулканы, «выросшие» из вещества верхней мантии, — по данным бурения в 125-м рейсе ODP.

[www.oceandrilling.org](http://www.oceandrilling.org)

Рабочие и коллекционные образцы отложений и пород, полученных при бурении, собраны в трех кернохранилищах IODP: при Университете штата Техас (США), Университете Бремена (Германия) и Университете Кочи (Япония).

\* \* \*

В программе IODP представлены три больших блока научных тем: глубинная биосфера и обстановка под поверхностью дна; природные изменения и процессы; геодинамика и планетарные циклы. Основное внимание уделяется следующим проблемам: бурение в мантию для анализа всей толщи океанической коры; роль раскола континентов в формировании осадочных бассейнов; вулканические рифтовые окраины и океанские плато во времени; зоны генерации землетрясений; газогидраты на континентальных окраинах; экосистемы микробов под поверхностью океанского дна; палеоклимат (экстремальные состояния и быстрые изменения).

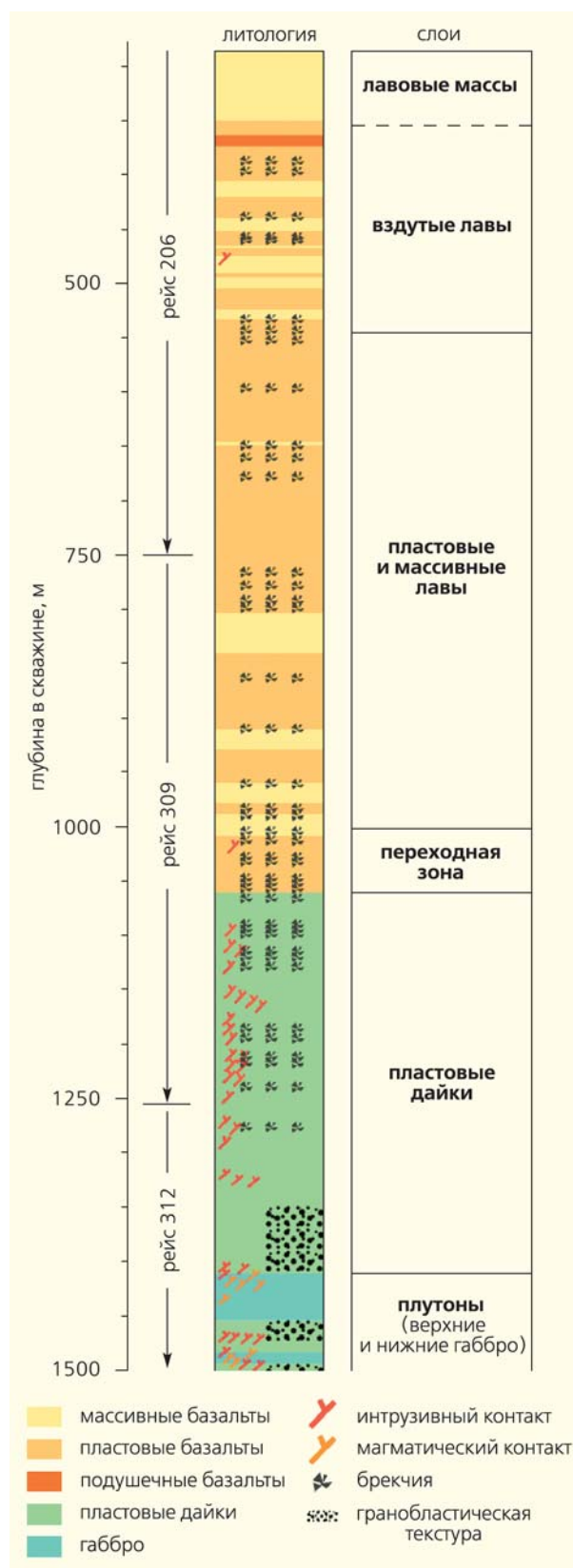
Помимо фундаментальных и инженерно-технологических исследований (а ведь подготовка и проведение экспедиций дают прорывы к новым инженерным решениям, буровым и научным технологиям) программа большое внимание уделяет образовательной деятельности, популяризации науки, разъяснению целей и задач научного бурения.

Каждая экспедиция глубоководного бурения в океане приносит научные данные, сопоставимые с открытиями. Можно перечислить десятки и сотни выдающихся результатов [15].

Подтверждение теории тектоники литосферных плит и установление «молодости» океанского дна — несомненная заслуга научного бурения.

Экспедиция ODP в 125-м рейсе подробно исследовала фантастические структуры на дне Марианского преддугового бассейна, расположенные в западной тропической Пацифике на глубине 3–5 км. Это конические «грязевые» вулканы высотой до 2.5 км и диаметром до 30 км, построенные из серпентина. Серпентин — группа волокнистых минералов асбестового ряда (основных силикатов магния), имеющих гидротермальное происхождение из верхней мантии. В данном районе он выносится на поверхность дна флюидами из зоны субдукции, а сами флюиды содержат морскую воду, которая в Марианском желобе захватывается под дно в процессе поддвига одной литосферной плиты под другую.

Скважина 1256D, пройденная в 312-м рейсе IODP, вошла в океаническую кору на плите Кокос, которая 15 млн лет назад образовалась при супербыстром спрединге (220 мм/год) Восточно-Тихоокеанского срединно-океанического хребта. Впервые в истории бурения пройдена вся верхняя часть земной коры: пробурен полный комплекс вулканических пород и достигнуты интрузивные магматические породы габбро основного состава, которые,



Интрузивные породы, поднятые из верхней мантии в 312-м рейсе IODP.

[www.oceandrilling.org](http://www.oceandrilling.org)





Природная катастрофа после метеоритного удара на рубеже мел-палеоген 65 млн лет назад — по данным бурения в рейсе 171В ODP.

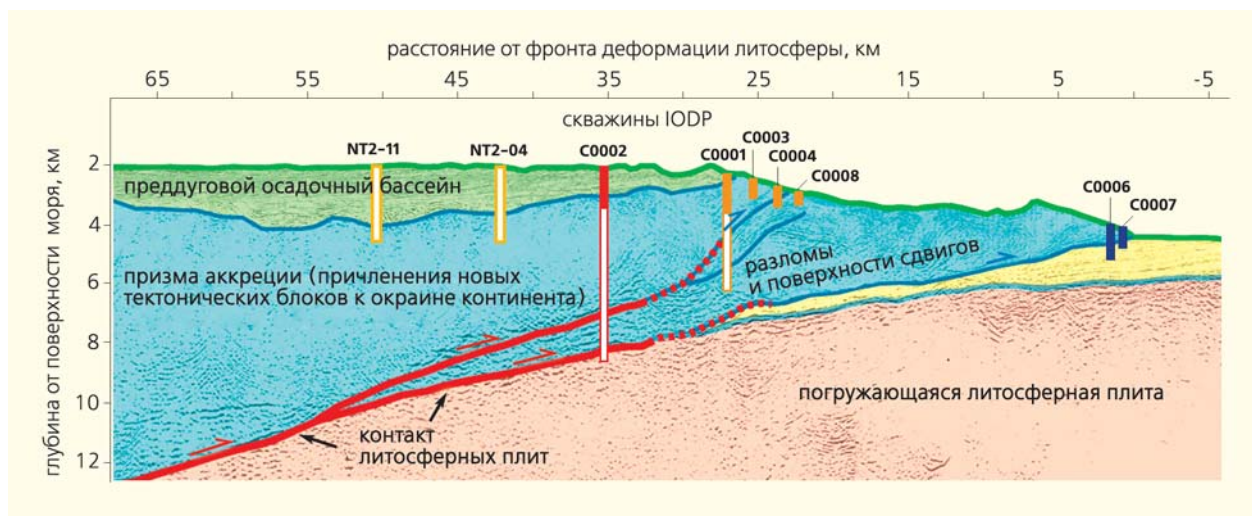
[www.oceandrilling.org](http://www.oceandrilling.org)

в отличие от базальтов, медленно кристаллизуются под поверхностью Земли. Сделан большой шаг к реальному воплощению проекта «Mohole».

Бурение в Атлантическом океане в 300 милях к северо-востоку от Флориды (ODP, рейс 171В, скважина 1049) подтвердило давно выдвинутую теорию о катастрофическом влиянии на природную систему Земли падения крупного метеорита, которое произошло 65 млн лет назад, на границе мелового и палеогенового периодов [7]. Он упал на п-ов Юкатан в Центральной Америке, образовав громадный кратер Чиксулуб. Четкие следы этого импакт-события, приведшего к вымиранию около 70% всех видов земных организмов, обнаружены в осадочном разрезе скважины 1049 на глубине примерно 126 м от поверхности дна.

Новая буровая платформа «Chikyu» отрабатывает технологию глубокого научного бурения в районе желоба Нанкай, к югу от Японских о-вов, на контакте Евразийской и Филиппинской литосферных плит. Здесь планируется пробурить ряд скважин через контакт плит и организовать сейсмологический мониторинг путем установки серии сейсмодатчиков на поверхности и в скважинах. Будут получены фундаментальные сведения о природе глубинных землетрясений на континентальной окраине Японии и создана система раннего обнаружения признаков землетрясений и последующих цунами. В данном районе намечено применить новые технологии сверхглубокого бурения — до 7 км под дно океана, что позволит достичь верхней мантии.

Основные научные проблемы следующей после 2013 г. пост-IODP программы обозначены инициативой INVEST («IODP New Ventures in Exploring Scientific Targets»), которая была выдвинута представителями международных научных



Контакт литосферных плит к югу от Японских о-вов — полигон наблюдений за возникновением и распространением глубинных землетрясений и цунами.

[www.jamstec.go.jp/»Chikyu»/eng/index.html](http://www.jamstec.go.jp/»Chikyu»/eng/index.html)

кругов по наукам о Земле на совещании, проходившем в сентябре 2009 г. в Университете Бремена. На нем определены главные блоки перспективных научных тем: созволюция жизни и планеты; взаимодействие внутренней сферы, коры и поверхности Земли; изменения климата — архивы прошлого, взгляд в будущее; динамика процессов, потоки и резервуары вещества в земной системе; взаимосвязи Земля—Человечество—Земля; научные технологии.

Организационные вопросы перехода к новой программе рассматриваются международной рабочей группой IODP IWG+ (International Working Group). Своего решения требуют «болевые точки» перехода к работам после 2013 г.: «равный взнос» или «равное участие» (будут ли члены программы

оплачивать полные расходы по программе или сохранятся главные финансирующие агентства, а остальные участники станут оплачивать расходы преимущественно на научные работы); управление централизованное или с промежуточными звеньями; упрощение и упорядочение научного планирования; привлечение к выполнению научных задач новых интеллектуальных сил. Россия (Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН) участвует в работе IWG+ пока только как наблюдатель. Тем не менее научный потенциал и опыт российских ученых в предыдущих программах глубоководного бурения позволяют надеяться на положительное решение о присоединении России к международным исследованиям по программам научного бурения. ■

## Литература

1. Анисимов Ю.А. // Нефтяное хозяйство. 1951. №6. С.54—55.
2. A Next Generation Driller is Versatile. Fleet Overview. Transocean Limited, 2010 ([www.deepwater.com/fw/main/Fleet-Overview-273.html](http://www.deepwater.com/fw/main/Fleet-Overview-273.html)).
3. Stena DrillMAX ICE Brochure. Stena Drilling Limited, 2008 ([www.stena-drilling.com/sub.asp?m=drilling&p=fleet](http://www.stena-drilling.com/sub.asp?m=drilling&p=fleet)).
4. Aspire Magazine. Anadarko Petroleum Corporation, 2010. V.1.
5. The Effective Answers for Ultra-Deep Waters and Harsh Environments. Ocean Rig ASA, 2010.
6. «Hughes Glomar Explorer» // An ASME Historic Mechanical Engineering Landmark. Houston, July 20, 2006 ([www.asme.org](http://www.asme.org)).
7. Sweeney D. // Invention & Technology Magazine. 1993. V.9. №1. P.54 ([www.americanheritage.com/articles/magazine/it/1993/1](http://www.americanheritage.com/articles/magazine/it/1993/1)).
8. 50 Years of Ocean Discovery. National Science Foundation 1950—2000. Washington, D.C., 2000.
9. International Phase of Ocean Drilling (IPOD). Deep Sea Drilling Project. Development Engineering. Operational Technical Achievements. 1984. Technical Note №6 ([www.deepseadrilling.org](http://www.deepseadrilling.org)).
10. Результаты глубоководного бурения в Мировом океане: Справочник-указатель. Л., 1989.
11. Ocean Drilling Program. Final technical report 1983—2007. Washington, D.C., 2007 ([www.oceandrilling.org](http://www.oceandrilling.org)).
12. The Integrated Ocean Drilling Program. IODP-MI, Washington, D.C., 2008 ([www.iodp.org/home](http://www.iodp.org/home)).
13. ECORD — Answers. 2008 ([www.ecord.org](http://www.ecord.org)).
14. Biebow N., Lembke-Jene L., Kunz-Pirrung M., Egerton P., Thiede J. «Aurora Borealis» — A New European Research Icebreaker with Drilling Capability. Strasbourg, 2009 ([www.eri-aurora-borealis.eu](http://www.eri-aurora-borealis.eu)).
15. ODP Highlights. International Scientific Contributions from the Ocean Drilling Program. Joint Oceanographic Institutions, Washington, D.C., 2004 ([www.iodp.org/scientific-publications](http://www.iodp.org/scientific-publications)).

# Нитрит и нитрат — новый взгляд на малые молекулы

С.В.Макаров

В начале 1998 г. в юбилейном номере журнала Американского химического общества была опубликована дискуссия ведущих американских ученых, посвященная развитию химии в 21-м столетии [1]. Среди множества интересных высказываний о роли и месте этой науки в жизни человека особенно примечательно выступление профессора Калифорнийского технологического института Ж.К.Бартон. Помимо прочего она обсуждает направления развития медицинской химии: «При создании новых препаратов, — считает Бартон, — обязательно использовать все более и более крупные молекулы, надо вернуться к малым. Если мы поймем, как малые молекулы взаимодействуют с большими, будут созданы новые классы лекарств, которые позволят победить многие заболевания».

Слова Бартон оказались пророческими. В течение последних 10 лет проведены исследования, результаты которых перевернули наши представления о месте и роли малых молекул в биохимии и физиологии человека. И здесь одно из самых почетных мест занимает нитрит, ( $\text{NO}_2^-$ ). Этот ион и соли, которые он образует с металлами, прежде всего с натрием, хорошо известны не только химикам, но и любому окончившему школу.



*Сергей Васильевич Макаров, доктор химических наук, профессор Ивановского государственного химико-технологического университета, заведующий кафедрой технологии пищевых продуктов и биотехнологии. Область научных интересов — гомогенный катализ, химическая кинетика, химия нитрита.*

## Почти ничего благоприятного

До конца 20-го столетия нитрит рассматривался почти исключительно как вредное, ядовитое, вещество, которое человек вынужден использовать в качестве консерванта при изготовлении мясных продуктов и в синтезе некоторых полезных химических соединений. Именно вынужден, поскольку ничего лучшего пока не нашли. Постоянно сообщалось о вреде нитрита, прежде всего в связи с образованием сильных канцерогенов — нитрозаминов — в результате его реакции с аминами. Почти ничего благоприятного о нитрите не говорилось. Примерно то же, только чаще и больше, сообщалось и о продукте окисления нитрита — нитрате,  $\text{NO}_3^-$ . Это и понятно, если вспомнить, каково его содержание во многих овощах.

О продукте восстановления нитрита — оксиде азота (II),  $\text{NO}$ , непрофессионалы знали намного меньше. Звезда  $\text{NO}$  взошла в конце XX в., когда было доказано, что этот оксид играет важнейшую роль в работе многих систем организма человека. В 1998 г. Ф.Мьюрэд, Р.Фёрчготт и Л.Игнарро получили Нобелевскую премию по физиологии или медицине за установление функциональной роли  $\text{NO}$  в работе сердечно-сосудистой системы\*. Был организован журнал «Nitric Oxide», число статей, посвященных химии и особенно биохимии оксида азота (II), стало исчисляться сотнями, а потом и тысячами.

\* Лауреаты Нобелевской премии 1998 года. *Ванин А.Ф.* По физиологии и медицине — Ф.Мьюрэд, Р.Фёрчготт, Л.Игнарро // Природа. 1999. №1. С.97—100.

Нитрит пока оставался в тени, его рассматривали исключительно как второстепенный продукт окисления NO или, в лучшем случае, как резервуар оксида азота (II) в организме. В самостоятельной биологической роли нитриту или отказывали вообще, или считали ее малозначащей по сравнению с NO. Особое внимание уделяли эндогенным (внутриорганизменным) путям возникновения оксида азота (II) [2]. Выяснилось, что в присутствии кислорода главный маршрут образования NO, а также нитрита и нитрата — это окисление так называемой протеиногенной, т.е. участвующей в построении белков, аминокислоты аргинина. Последний отличается от других протеиногенных аминокислот тем, что содержит четыре атома азота, а не один или два. Три атома образуют гуанидиновую группировку, при окислении которой и получается NO. Но если организм ощущает недостаток кислорода, т.е. страдает от гипоксии, включается другой путь — последовательно восстанавливаются нитрат и нитрит:  $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}$  [2].

Известны два источника нитрата и нитрита в организме: упомянутый аргинин и продукты питания, содержащие  $\text{NO}_3^-$  или  $\text{NO}_2^-$ . Роль второго источника существенно возрастает, если человек потребляет такие овощи, как салат или шпинат, и некоторые другие пищевые продукты, богатые нитратом. Питьевая вода также может содержать значительные количества нитрата, хотя во многих странах его концентрация в воде строго контролируется. Нитрит человек получает прежде всего вместе с мясными продуктами — ветчиной, колбасой, сосисками и т.д. [3]. Для восстановления нитрата необходимы ферменты — нитратредуктазы, этот процесс протекает главным образом в ротовой полости.

Нитрит — значительно более сильный окислитель, чем нитрат. Особенно благоприятные условия для его восстановления создаются в желудке, кислая среда которого усиливает окислительные свойства нитрита. Он превращается в оксид азота (II) весьма эффективно в присутствии восстановителей — аскорбиновой кислоты и полифенолов [2], содержащихся во многих продуктах питания, преимущественно во фруктах и овощах. Восстановление нитрита тоже осуществляет фермент — ксантиноксидоредуктаза.

Совсем недавно установлено, что способностью восстанавливать нитрит обладают глобины — гемоглобин и миоглобин [2, 4]. Каждый из них состоит из молекулы белка-глобина и гема, представляющего собой железопорфириновый комплекс. Основная функция гемоглобина, как известно, — переносить кислород от органов дыхания к тканям, а обратно нести углекислоту. Нитрит взаимодействует с дезоксигенированным, т.е. не содержащим кислород, гемоглобином ( $\text{HbFe}^{2+}$ ), в котором железо находится в двухвалентном состоянии, и в результате образуются

оксид азота (II) и метгемоглобин ( $\text{HbFe}^{3+}$ ) с трехвалентным железом в геме:



Оксид азота (II) затем вступает в реакцию с другой молекулой дезоксигемоглобина, и возникает железонитрозильный комплекс:



Поскольку с нитритом реагирует только гемоглобин, не содержащий кислорода,  $\text{NO}_2^-$  здесь выступает в качестве сенсора гипоксии. Образующийся при этом оксид азота способствует расслаблению кровеносных сосудов.

Другой белок, миоглобин, содержится в мышцах (его особенно много у морских млекопитающих, которые способны долгое время находиться под водой) и служит для запасаения кислорода. Дезоксимиоглобин тоже взаимодействует с нитритом, причем значительно быстрее (примерно в 30 раз), чем дезоксигемоглобин [2]. Таким образом, глобины выполняют в этих процессах роль, свойственную ферментам редуктазам. В присутствии кислорода картина меняется кардинально. Оксигенированный миоглобин работает подобно диоксигеназе — окисляет NO до нитрата. Следовательно, миоглобин участвует в процессах образования, и потребления оксида азота (II), выступая в качестве регулятора.

## Полезные источники

На сегодня выяснена (вероятно, еще не до конца) физиологическая роль нитрата и нитрита. Какие же медицинские применения нашли и, возможно, найдут в будущем эти считавшиеся только опасными малые молекулы? Многочисленными исследованиями доказан сосудорасслабляющий эффект малых доз нитрита [2, 5]. При лечении некоторых сердечно-сосудистых заболеваний он представляет собой удобный стабильный источник оксида азота. Терапевтическое действие оказывают также такие известные доноры NO, как органические нитраты (например, многим знакомый нитроглицерин) и нитриты (наиболее известен амилнитрит). Сосудистая активность этих соединений выше, чем неорганического нитрита, однако при длительном применении она снижается, так как развивается привыкание. Неорганический нитрит не обладает этим неприятным качеством.

В последние годы в опытах на животных показано, что нитрит перспективен для лечения весьма серьезных болезней — инфаркта, инсульта и др. Об одном из наиболее важных успехов, достигнутых применением нитрита, стало известно еще в начале 2006 г. Оказалось, нитрит убивает синегнойную палочку (*Pseudomonas aeruginosa*). Эта бактерия, устойчивая к действию антибиотиков, считается условно патогенной для человека, но она буквально

но вездесуща и может вызывать многие заболевания, в том числе тяжелое легочное, если иммунная система организма ослаблена. Устойчивость к антибиотикам — не единственный характерный признак синегнойной палочки. В отличие от многих других бактерий, перерабатывающих нитрит благодаря наличию специальных ферментов, этот микроорганизм лишен такой способности. В его клетках из нитрита в кислой среде образуется азотистая кислота, которая в течение 16 дней практически полностью и, что очень важно, селективно, убивает синегнойную палочку [6]. Исследователи из Университета Цинциннати (США) надеются, что нашли ахиллесову пяту *Ps.aeruginosa*.

Главной проблемой пока остается токсичность нитрита (и нитрата тоже, поскольку он представляет собой продукт окисления нитрита). Об этом свойстве нужно поговорить особо. Токсичность нитрата, как считалось долгое время, обусловлена его канцерогенными свойствами и способностью вызывать повышенное образование метгемоглобина. Метгемоглобинемия, связанная с протеканием реакции (1), влечет за собой кислородное голодание, потому что метгемоглобин не может переносить кислород и, следовательно, доставлять его к тканям. В опытах на животных в последние годы показано, однако, что дозы нитрита, необходимые для лечения инфаркта миокарда (менее 40 мг), не вызывают увеличения уровня метгемоглобина [2]. Канцерогенные свойства нитрата и нитрита, как сообщается во многих изданиях [например, 3, 7], обусловлены образованием сильных канцерогенов — нитрозаминов — по реакции нитрита с аминами. Но, несмотря на 40 лет интенсивных исследований, так и не удалось установить прямую связь между количеством потребляемого нитрата или нитрита и раком желудка. В опубликованном в 2001 г. в США докладе, посвященном токсикологии и канцерогенным свойствам  $\text{NO}_2^-$ , говорится, что доказательства канцерогенной активности нитрата в количествах, не вызывающих метгемоглобинемии, отсутствуют [2]. Таким образом, если применять нитрит в дозах, необходимых для лечения сердечно-сосудистых заболеваний, риск возникновения рака минимален.

Нанотехнологические исследования тоже не обошли стороной нитрит. Нанотехнологи занимаются созданием систем, которые позволяли бы контролировать скорость выделения оксида азота (II) из какого-либо его источника. А им может служить, например, нитрит натрия — твердое и дешевое вещество, пригодное для изготовления имплантатов. В качестве наноплатформ специалисты рекомендуют применять, в частности, композитный материал гидрогель-стекло или нитритсодержащие стекла. Платформы второго типа содержат углеводы (вещества нетоксичные и не вызывающие нежелательных эффектов) — невосстанавливающие дисахариды (трегалозу или сахарозу) с добавками восстанавливающих моносахаридов

(глюкозы или тагатозы) [8]. В результате реакции нитрита с восстанавливающим сахаром образуется оксид азота (II), который выделяется из сухой матрицы при ее взаимодействии с водой и проявляет свой мощный антимикробный эффект.

## В поисках лучшего

Восстановителями могут служить не только глюкоза или тагатоza, но и другие соединения, неуглеводные. Понятно, что скорость реакции нитрита с восстановителем будет в значительной степени зависеть от его природы и применяемых добавок. Мы занимаемся изучением кинетики некаталитических и каталитических реакций нитрита с различными восстановителями, в том числе моносахаридами и аскорбиновой кислотой. Исследования осуществляются в тесном сотрудничестве с группами профессора Р.Силаги-Думитреску из Университета им.Бабеша-Большый в г.Клуж-Напока (Румыния) и профессора Р. ван Элдика из Университета им.Фридриха-Александра в городах Эрланген и Нюрнберг (Германия). В качестве катализаторов реакций восстановления нитрита и нитрата мы использовали комплексы металлов, преимущественно железа и кобальта, с порфиринами и родственными им соединениями. Проще говоря, катализаторами были порфирины, подобные природным — уже упомянутому железопорфиру, составной части гемоглобина и миоглобина.

Восстановителями в наших исследованиях служили не только моносахарид и аскорбиновая кислота, но и серусодержащие соединения — дитионит натрия,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ , и диоксид тиомочевины,  $(\text{NH}_2)_2\text{CSO}_2$ . Еще в 2002 г. в экспериментах удалось выяснить, что оба эти соединения обладают значительно большей восстановительной активностью, чем моносахариды и витамин С. Так, диоксид тиомочевины оказался способен к более глубокому восстановлению нитрита — до оксида азота (I),  $\text{N}_2\text{O}$  [9]. Оксид азота (II), NO, который образуется при восстановлении нитрата и нитрита, может восстанавливаться и дальше, причем в результате получаются либо оксид азота (I) и азот, либо аммиак.

В медицинских работах эти процессы почти не рассматриваются. А между тем знание причин, приводящих к образованию тех или иных продуктов глубокого восстановления нитрата и нитрита, очень важны, например, при разработке эффективных способов очистки воды от нитратов. В настоящее время одним из наиболее перспективных методов считается жидкофазное гидрирование (т.е. реакция с водородом) на катализаторах — благородных металлах. Важнейшее условие, которому должен отвечать процесс очистки, — отсутствие среди продуктов аммиака, обладающего неприятным запахом и другими нежелательными свойствами. Очистка воды с использованием пал-

ладиевых катализаторов, проявляющих наибольшую активность в реакции гидрирования нитрата, не полностью соответствует этому требованию. В экспериментах выяснено, что большей селективностью, т.е. способностью направлять реакцию в сторону образования азота, обладают платиновые наночастицы определенного строения [10].

Состав продуктов глубокого восстановления нитрата и нитрита может быть различен и при гомогенном жидкофазном катализе. Причины этого мы исследовали совместно с коллегами из Румынии. Нужно было понять, как влияет природа катализатора и восстановителя на состав продуктов. Оказалось, это зависит главным образом от способа координации нитрита в металлопорфинах и их аналогах. Поскольку нитрит относится к так называемым амбидентатным ионам (они могут координироваться, т.е. образовывать связь с металлом-комплексообразователем, по-разному), он координируется либо через атом азота, либо через атом кислорода. Мы доказали, что тип координации нитрита в промежуточных продуктах каталитического восстановления  $\text{NO}_2^-$  зависит от того, какой используется металл-комплексообразователь и какова его степень окисления, а также от природы восстановителя [11, 12]. Проводя гомогенно-каталитическое восстановление нитрита и нитрата дитионитом натрия в одинаковых условиях, мы получили **разные** соединения: из нитрита — аммиак, а из нитрата — оксид азота (I) и азот, хотя нитрит **всегда** образуется в качестве промежуточного продукта восстановления нитрата [11]. Эти результаты могут свидетельствовать о разных типах координации нитрита в процессе его восстановления.

Выяснить тип координации важно также для определения механизмов окислительно-восста-

новительных реакций с участием NO. В этом направлении в последние годы достигнуты значительные успехи. Например, показано, что в комплексе восстановленной медьсодержащей нитритредуктазы с NO реализуется необычный боковой тип координации, при котором металл связан с обоими атомами двухатомной молекулы (N и O) [13]. Авторы статьи объясняют полученные данные тем, что в ходе катализа связь медь-кислород меняется на связь медь-азот. Это очень важно для понимания функции неорганических азот-кислородных соединений.

В этой статье была рассмотрена лишь часть достижений и проблем богатой и очень интересной химии нитрата, нитрита и оксида азота (II). Сведения о них обобщены в недавно вышедшей монографии [14]. Информацией об этих соединениях постоянно пополняются страницы не только журнала «Nitric Oxide», но и других периодических изданий\*. Нитрат, нитрит и оксид азота (II) тесно связаны между собой, и только комплексные исследования дадут в будущем возможность решить оставшиеся задачи.

В заключение отмечу, что обсуждаемые здесь соединения азота — далеко не единственные малые молекулы (ионы), привлекающие все большее внимание химиков, биохимиков и медиков. Многие неизвестные ранее биологические функции выявлены также у оксида углерода, CO, и сероводорода,  $\text{H}_2\text{S}$  [15, 16]. Не исключено, что скоро мы станем свидетелями новых открытий в химии малых молекул. ■

\* См., напр.: Friedman A, Friedman J. // Expert Opin, Drug Deliv. 2009. V.6. №10. P.1113—1122; Navati M.S., Friedman J.M. // J. Am. Chem. Soc. 2009. V.131. P.12273—12279; Navati M.S., Friedman J.M. // J. Phys. Chem. B. 2010. V.114. P.2938—2943; Guttman Krader C. // Dermatology Times. May 2010. P.32, 34.

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 07-03-91687-а.**

## Литература

1. Chem. Eng. News. 1998. V.76. №2. P.143—162.
2. Lundberg J.O., Weitzberg E., Gladwin M.T. // Nature Rev. Drug Discovery. 2008. V.7. P.156—167.
3. Ruiz-Capillas C., Aller-Guiote P., Carballo J., Jimenes Colmenero F. // J. Agric. Food Chem. 2006. V.54. №26. P.9959—9965.
4. Cossins A., Berenbrink M. // Nature. 2008. V.454. P.416—417.
5. Butler A.R., Feelisch M. // Circulation. 2008. V.117. P.2151—2159.
6. Sang Sun Yoon et al. // J. Clin. Invest. 2006. V.116. №2. P.436—446.
7. Рогов И.А., Антимова Л.В., Шуваева Г.П. Пищевая биотехнология. Кн.1. М., 2004.
8. Friedman A.J. et al. // Nitric Oxide. 2008. V.19. P.12—20.
9. Makarov S.V., Kudrik E.V., Eldik R.van, Naidenko E.V. // J. Chem. Soc., Dalton Trans. 2002. №22. P.4074—4076.
10. Miyazaki A., Asakawa T., Nakano Y., Balint I. // Chem. Commun. 2005. P.3730—3732.
11. Kudrik E.V., Makarov S.V., Zabl A., Eldik R.van // Inorg. Chem. 2003. V.42. №2. P.618—624.
12. Kudrik E.V., Makarov S.V., Zabl A., Eldik R.van // Inorg. Chem. 2005. V.44. №18. P.6470—6475.
13. Tocheva E.I., Rosell F.I., Mauk A.G., Murphy M.E.P. // Science. 2004. V.304. P.867—870.
14. Food, Nutrition and the Nitric Oxide Pathway. Biochemistry and Bioactivity / Ed. N.S.Bryan. Lancaster, 2009.
15. Mann B.E., Motterlini R. // Chem. Commun. 2007. P.4197—4208.
16. Yang G. et al. // Science. 2008. V.322. P.587—590.

# Приключения флуоресцентных молекул в биологических мембранах

И.А.Болдырев, Ю.Г.Молотковский

## Третье измерение

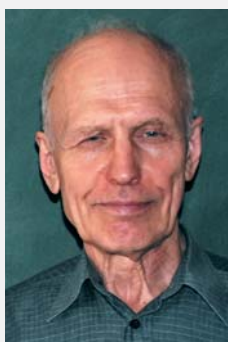
В Википедии, где, похоже, собраны сведения из всех доступных учебников, приведен ставший каноническим рисунок биологической мембраны (рис.1) и дано ее определение: «Клеточная мембрана представляет собой двойной слой (бислоем) молекул класса липидов, большинство из которых представляет собой так называемые сложные липиды — фосфолипиды. Молекулы липидов имеют гидрофильную (“головка”) и гидрофобную (“хвост”) части. При образовании мембран гидрофобные участки молекул оказываются обращены внутрь, а гидрофильные — наружу».

Пусть вас не смущает изогнутость мембраны на рисунке: поверхность Земли чаще всего изображают плоской. Большого внимания заслуживает слово «бислоем», которое означает, что толщина биологической мембраны — всего две молекулы! По сравнению с ее длиной и шириной это столь несущественно, что мембрану можно рассматривать как пленку, как двумерный объект. Хотя измерений всего два, липиды в мембране этого не замечают и ведут себя как в настоящем трехмерном мире. Они могут идеально смешиваться друг с другом, а могут и не смешиваться, при этом об-

© Болдырев И.А.,  
Молотковский Ю.Г., 2010



**Иван Александрович Болдырев**, кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории химии липидов Института биоорганической химии имени академиком М.М.Шемякина и Ю.А.Овчинникова РАН. Занимается синтезом липидов (новых липидов, флуоресцентных зондов), изучением липидного полиморфизма, взаимодействия с мембранами низкомолекулярных веществ (флуорофоров, пигментов, лекарственных средств.)



**Юлиан Георгиевич Молотковский**, доктор химических наук, главный научный сотрудник той же лаборатории. Область научных интересов — липидный синтез (новые липиды, флуоресцентные и фотоактивные мембранные зонды), строение мембран, липид-белковые и липид-липидные взаимодействия, противоопухолевая и противовирусная активность веществ липидной природы, их синтез и применение.

разуются отдельные фазы, которые сосуществуют так же, как, например, вода и пар. Только в случае с мембранами все фазы двумерные — и твердая (гель), и жидкая. «Двумерного» газа, наоборот, уже не обнаружат, зато между жидкой и твердой есть средняя фаза, которая называется жидкой упорядоченной. Все эти фазы нужны, чтобы разделять или, наоборот, соединять мембранные белки.

В этом двумерном мире присутствие посторонних веществ в незначительных (следовых) количествах не влияет на поведение системы, чем активно пользуются исследователи мембран. Например, если добавить немного флуоресцентного красителя, фазовое разделение останется прежним, но теперь его можно будет увидеть под микроскопом.

Все выглядит иначе, стоит внимательнее присмотреться

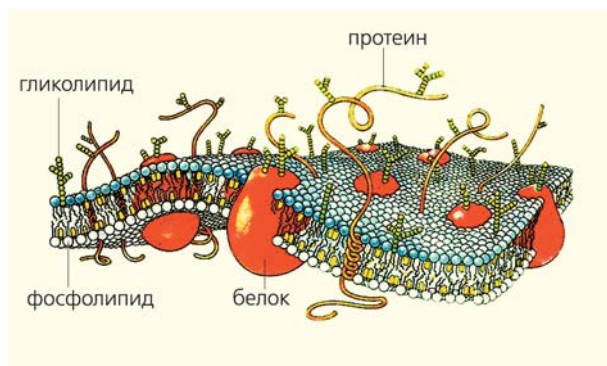


Рис.1. Биологическая мембрана.

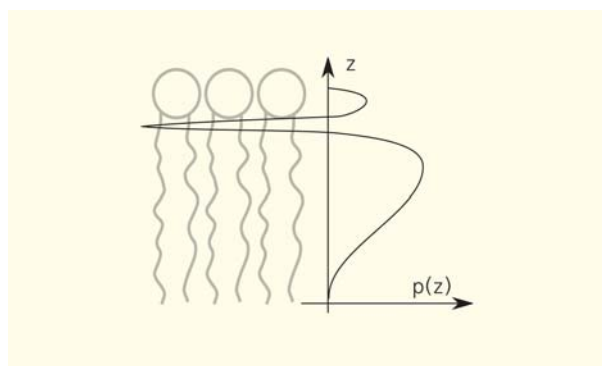


Рис.2. Профиль изменения латерального давления по толщине мембраны.

к третьему измерению, где на счету каждый ангстрем. Толщина мембраны всего 30–40 Å, и, если двигаться насквозь от одной ее поверхности к другой, заметно, как с каждым шагом меняется окружающее пространство, точнее, все его параметры — от полярности до давления. Внутри мембраны (в середине половинки бислоя) оно приблизительно в 400 раз больше, чем на ее поверхности (рис.2).

### Посторонние молекулы

Откуда в мембране посторонние? Предположим, экспериментатор налил в образец с клетками немножко бензина. Молекулы, из которых он состоит, гидрофобные, а значит, не растворяются в воде и будут накапливаться внутри биологической мембраны. Так происходит со многими веществами, которые входят в состав лекарств, косметических средств и т.д. Даже простая прогулка по вечерним улицам принесет нашим мембранам несколько новичков.

Известно, что многие вещества, к примеру, используемый для наркоза эфир, действуют на какие-либо белки не напрямую, а внедряются в мембрану. Ее свойства меняются, что тут же отражается на активности «живущих» в мембране ферментов, а затем и на состоянии всего организма. Очевидно, чтобы по-

действовать на свойства мембран в двух измерениях, нужны ощутимые количества посторонних молекул, а вот для третьего измерения хватит и одной молекулы! Конечно, ее влияние будет чувствоваться только в непосредственной близости, но и этого вполне достаточно, например, для нарушения передачи важного биохимического сигнала в клетку.

Как же понять, что происходит с одной-единственной молекулой внутри мембраны? Ну пусть не с одной, а с несколькими, но их так мало и они так далеко друг от друга находятся в мембране, что никогда не встречаются. Здесь столь мощные методы, как ядерный магнитный резонанс и рентгеноструктурный анализ, не работают. Приходится обращаться за помощью к самим молекулам. Некоторые из них обладают собственной флуоресценцией. Это явление хорошо изучено, и его можно использовать даже для определения ориентации молекулы в пространстве.

Однако, даже зная, что происходит с флуоресцентной молекулой в мембране, можно ли судить о том, как будут вести себя другие, нефлуоресцентные молекулы? Конечно, можно, надо только собрать информацию о множестве разных флуоресцентных молекул, больших и маленьких, полярных и не очень, с хвостами, как у липидов, и без. Сопоставив все дан-

ные и выявив общую закономерность поведения в мембране чужеродной молекулы в зависимости от ее структуры, можно прогнозировать, какие изменения вызовут другие, нефлуоресцирующие, молекулы. Такая аргументация хороша тем, что позволяет немедленно приступить к экспериментам. Итак, как же ведут себя молекулы, попадая внутрь мембран?

### Вдоль и поперек

Наверное, самый популярный флуоресцентный зонд для исследования мембран — дифенилгексатриен (DPH). Это неполярная, жесткая и вытянутая молекула с примерно такими же соотношениями длины, ширины и толщины, как у кусочка черного хлеба. В структуре DPH — два бензольных кольца, соединенных мостиком из трех сопряженных двойных связей. Долгое время считалось, что эта молекула располагается в мембране вдоль нормали к бислою. Устойчивость заблуждения можно объяснить тем, что липидные бислои почти всегда изображают с гидрофобными хвостами, вытянутыми по направлению к центру мембраны (как на рис.1). На самом деле это можно увидеть (и то не всегда) лишь в гелевой фазе, во всех же других случаях липидные хвосты направлены как угодно, только не прямо. С та-



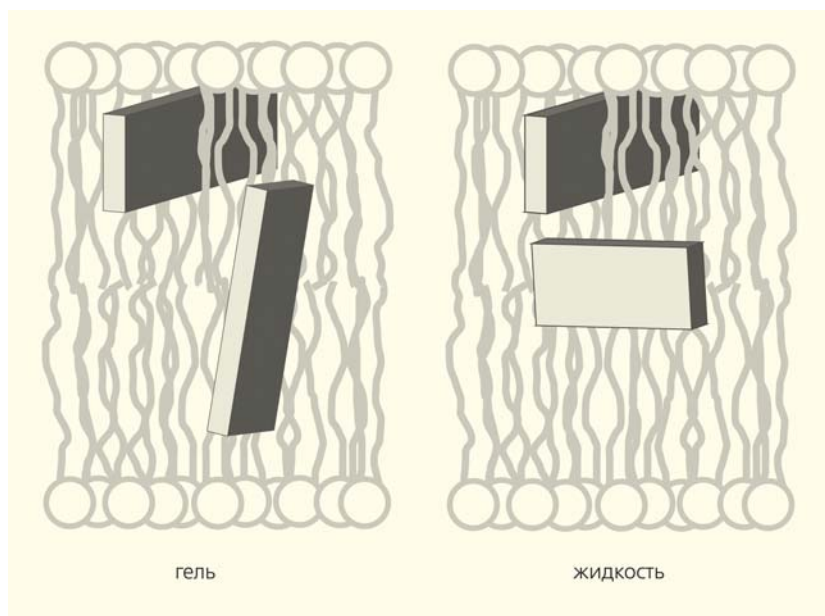


Рис.3. Положение молекулы DPH в мембране.

ким уточнением экспериментальные данные об ориентации DPH в мембране стали более понятными (рис.3). Даже в гелевой фазе молекулы DPH могут занимать два разных положения, т.е. образуются две их популяции. В первой из них молекулы располагаются близко к поверхности бислоя и параллельно ей (см. рис.3), а во второй — в центре мембраны с ориентацией в  $30^\circ$  к нормали бислоя. При переходе в жидкокристаллическую фазу направление первой популяции остается неизменным, а во второй наблюдается распределение ориентаций метки вокруг среднего положения, перпендикулярного к нормали к бислою.

Иными словами, посторонняя молекула не обязательно стремится расположиться в мембране вдоль липидных хвостов. Все совсем наоборот. Гидрофобные хвосты постоянно двигаются и вытесняют молекулу-чужака в области, где она меньше всего им мешает. Если теперь снова посмотреть на то, как распределяется давление по толщине мембраны (см. рис.2), видно, что молекула располагается там, где давление наименьшее.

Молекулы меньшего размера, такие как пирен или перилен, ведут себя точно так же. Всякий раз делятся на две популяции — одна в центре бислоя, вторая ближе к поверхности. Удивительно здесь то, что речь идет о совершенно неполярных молекулах, которые, как кажется на первый взгляд, должны стремиться спрятаться как можно глубже в мембране.

Если к DPH прикрепить какую-нибудь полярную группу, например триметиламин, то поведение этой молекулы в мембране сразу меняется. Полярная группа стремится расположиться на ее поверхности поближе к воде и тащит за собой всю оставшуюся молекулу DPH, которая наружу идти по-прежнему не хочет. Теперь существует всего одна популяция этой жесткой молекулы с полярной частью на поверхности мембраны и жестким хвостом, вытянутым к этой поверхности под углом  $20 \pm 10^\circ$ .

Такое же поведение характерно и для других вытянутых флуоресцентных молекул с полярной группой на одном из ее концов, например, лаурдана. Этим красивым именем называют производное нафталина (два

сопряженных бензольных кольца), у которого с одной стороны присоединен третичный амин, а с другой — углеводородный хвост. Несмотря на его присутствие, жесткий ароматический остов ориентируется под углом около  $60^\circ$  к поверхности мембраны. Большая разница в углах с DPH объясняется тем, что жесткий остов DPH значительно длиннее.

DPH, перилен и лаурдан — это изначально гидрофобные молекулы. А можно ли поместить в мембрану, внутрь бислоя, полярную водорастворимую молекулу? Можно! Но как она будет себя вести?

### Плыть или тонуть

На первый взгляд кажется бессмыслицей заставлять полярные молекулы, которые так любят воду, плавать в безводном (гидрофобном) окружении. Тем не менее среди флуоресцентных меток таких полярных молекул значительно больше, чем неполярных. И мы хотим исследовать все возможные молекулы — и большие, и маленькие. Хорошо бы к тому же не просто поместить молекулу в гидрофобную область бислоя, а точно задать глубину ее погружения. Здесь на помощь пришли химики и сделали такие липиды, у которых флуоресцентная метка присоединена на конце хвоста разной длины (рис.4).

Но не тут-то было. Даже закрепленная на конце очень длинного гидрофобного хвоста полярная метка оказывается на поверхности мембраны (рис.5). Такая метка, какой бы длины ни был хвост, ведет себя как обыкновенный поплавок! Это еще раз показывает, что гидрофобный хвост сам по себе не стремится вытянуться в каком-то одном направлении. Если на конец этого хвоста прицепить что-нибудь полярное, он постарается изогнуться и выставить свою полярную часть на поверхность. Даже если полярную

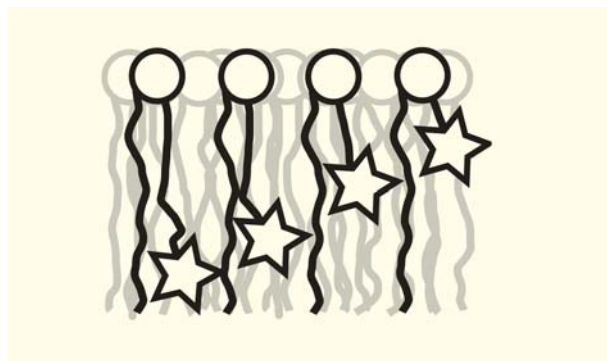


Рис.4. Липиды с флуоресцентной меткой на разной глубине внутри мембраны.

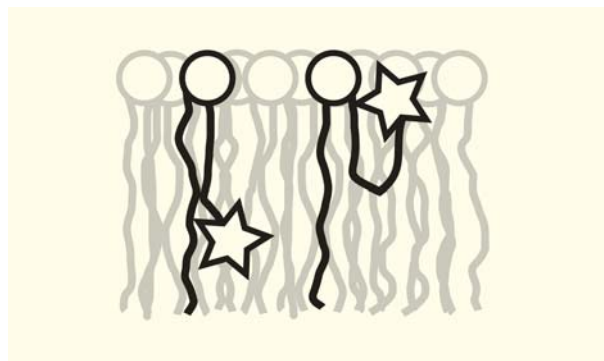


Рис.5. Флуоресцентная метка, всплывающая к поверхности мембраны.

группу присоединить не к концу хвоста, а к середине, все будет точно так же — эта группа окажется на поверхности.

А что будет, когда метка и не полярная, и не гидрофобная, а так — что-то среднее? В этом случае опять образуются две популяции меток: одна на поверхности, вторая внутри бислоя. Это не значит, что одна метка навсегда застынет на поверхности мембраны, а вторая, точно такая же, навсегда останется в глубине мембраны. На самом деле любая такая метка будет то всплывать, то тонуть. Поскольку перемещение между двумя положениями происходит быстро, а нахождение метки на поверхности или внутри бислоя продолжается гораздо дольше, мы будем видеть две разные популяции метки.

Интересно, что время, которое метка проводит на поверхности или, наоборот, в глубине мембраны, зависит от ее состояния. Например, в жидкой фазе метка может всплывать, а в гелевой всегда погружена.

### Липидное будущее маленьких молекул

Все это, безусловно, интересно. Но какая может быть польза от полученных знаний и к чему их можно применить? Оказывается, польза есть — они важны для современных исследований, направленных на получение новых материалов (бронзы, полиэтилена, полупроводников или жидких кристаллов). Каждый раз, когда их удастся изобрести, это открытие преобразует

жизнь. Мы узнали, что свойства материалов зависят не только от составляющих их молекул, но и от их взаимного расположения. Но как быть, если молекулы с нужными свойствами не хотят сами собой располагаться в пространстве так, как надо? Вот здесь и могут пригодиться наши исследования. Теперь появилась возможность внедрять нужные молекулы в мембраны или другие структуры, которые выстраивают из липидов. В этих структурах мы в будущем сможем управлять ориентацией молекул, подбирая липиды или немного изменяя сами молекулы.

Кто знает, может быть, когда-нибудь все материалы, а то и все детали из этих материалов будут собираться самостоятельно? Только смешай нужные молекулы! ■

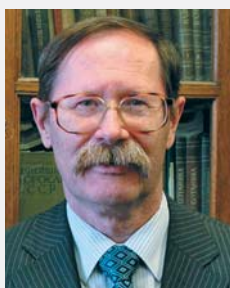
**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 09-04-003313.**

# Каменноугольная система и ее «золотые гвозди»

А.С.Алексеев, Н.В.Горева, Е.И.Кулагина, В.Н.Пучков

Как определить, какие породы образовались в определенный интервал времени в удаленных друг от друга древних морских бассейнах? Как найти одновозрастные слои, которые накапливались в морях и на суше в один и тот же период времени? Эти задачи решаются большим отрядом геологов — стратиграфами. На помощь им приходит палеонтология — наука об ископаемых остатках организмов, живших в ту или иную геологическую эпоху. По этим остаткам реконструируется внешний вид и внутреннее строение организмов, восстанавливаются их родственные связи, условия существования, образ жизни и место в истории эволюции всего живого на Земле. Учение об эволюции положено в основу и общих представлений о геологическом времени, и методических приемов, используемых стратиграфами при уточнении и совершенствовании относительной геологической шкалы.

Не все ископаемые организмы в равной степени ценны для стратиграфии. Выделяются так называемые ортостратиграфические группы: организмы, которые легко расселялись по земному шару, были в достаточной мере космополитны и при этом быстро эволюционировали, что отражалось в частых изменениях их морфологических признаков. На выделении видов-индексов, или групп характерных ви-



**Александр Сергеевич Алексеев**, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры палеонтологии МГУ, заведующий лабораторией протистологии Палеонтологического института им. А.А.Борисяка РАН. Председатель Каменноугольной комиссии Межведомственного стратиграфического комитета России. Научная деятельность связана со стратиграфией фанерозоя.



**Наталья Валерьевна Горева**, кандидат геолого-минералогических наук, заведующая лабораторией микропалеонтологии Геологического института РАН. Область научных интересов — палеонтология и стратиграфия карбона.



**Елена Ивановна Кулагина**, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии Уфимского научного центра РАН. Специалист в области палеонтологии и стратиграфии карбона.



**Виктор Николаевич Пучков**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, директор Института геологии Уфимского научного центра РАН. Научная деятельность связана с исследованиями по геотектонике и стратиграфии докембрия и палеозоя Урала.

© Алексеев А.С., Горева Н.В., Кулагина Е.И., Пучков В.Н., 2010

дов, построена относительная шкала геологического времени.

Возраст Земли оценивается в 4.5—5 млрд лет. Это время разделено на интервалы по важнейшим событиям, отраженным в истории Земли. Породы, накопившиеся в течение определенного временного интервала, составляют геологический «этаж» и имеют определенное название. Имеется и временной эквивалент каждого такого этажа. Последовательность этих отрезков времени составляет шкалу геологического времени, или глобальную хроностратиграфическую шкалу. Ее еще называют глобальной или международной стратиграфической шкалой.

Без такой шкалы невозможно создание геологических карт, познание пространственной и временной структуры осадочной оболочки земной коры, восстановление истории развития нашей планеты. Уже около 60 лет международное сообщество геологов бьется над созданием шкалы, которая не содержала бы в себе пропусков и перекрытий. Для этого разработаны специальные правила и процедуры. Пока завершена работа примерно над половиной такой шкалы. В ней нашли свое место названия подразделений, первоначально установленных в различных странах. Есть такие и с российским «гражданством». Кроме ярусов пермской системы, это пять каменноугольных ярусов, выделенных в России и имеющих неоспоримый исторический приоритет.

### Каменноугольная система

В отличие от других, каменноугольная система делится не на отделы, а на подсистемы, поскольку в середине этого времени преимущественно теплый климат сменился на холодный и началась длительная ледниковая эпоха. Природная среда и органический мир до и после этого события существенно различались. Такое необычное де-

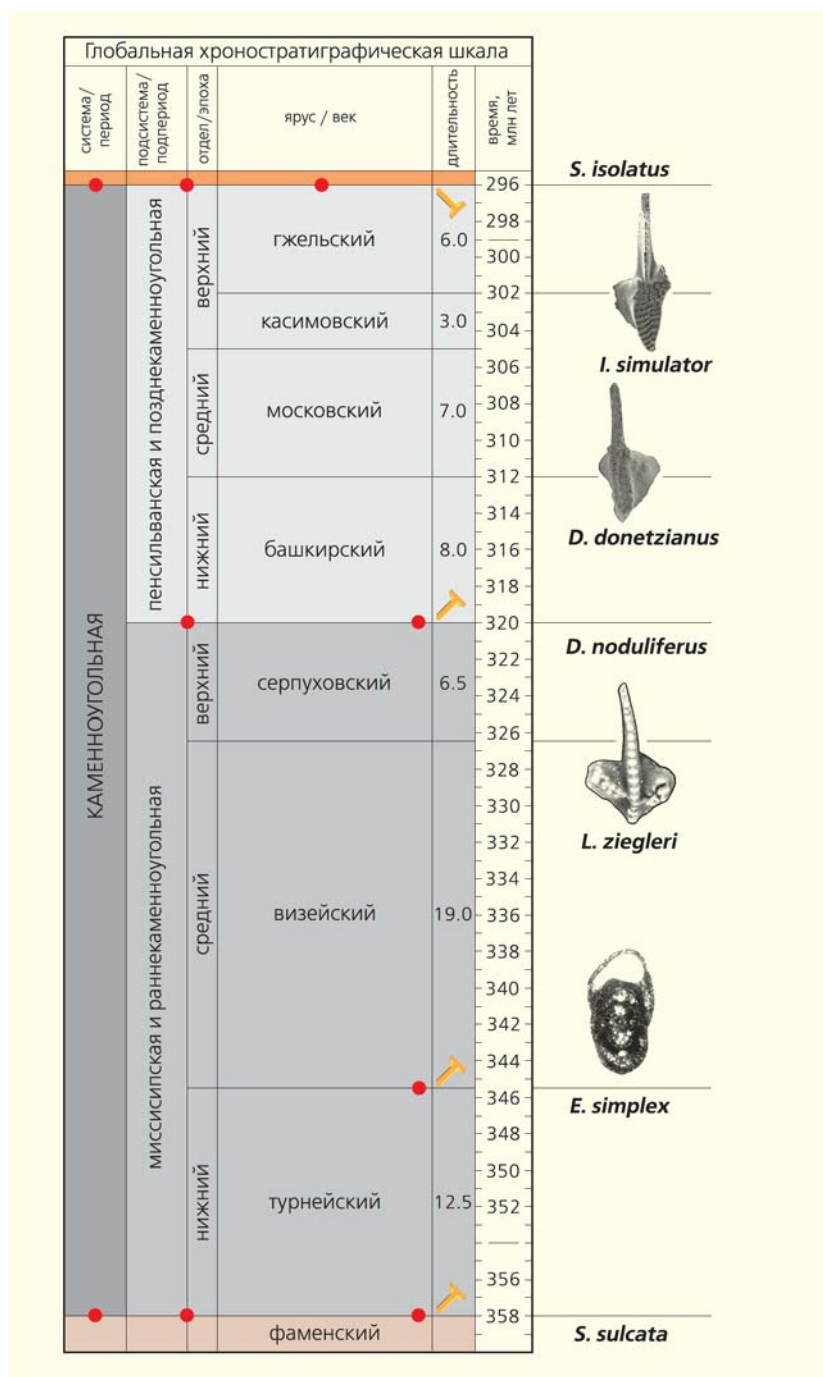


Рис.1. Глобальная хроностратиграфическая шкала карбона и биомаркеры. «Золотые гвозди» показаны на уровне утвержденных маркеров.

ление стало компромиссом между европейскими и американскими геологами, поскольку в Северной Америке вместо одной системы выделялись две. Таким образом, в карбоне выделяются две подсистемы: миссисипская (нижний карбон) и пен-

сильванская (верхний карбон). Они делятся на отделы, каждый из которых (кроме одного, самого верхнего) эквивалентен одному ярусу (рис.1). Миссисипский включает три яруса (турнейский, визейский и серпуховский), а пенсильваний — четыре

(башкирский, московский, касимовский и гжельский).

Как же определить, какие толщи к какому ярусу отнести? Как провести линию, разделяющую, например, башкирский и московский ярусы? Решением этих вопросов занимается Международная комиссия по стратиграфии, входящая в состав Международного союза геологических наук. Она состоит из подкомиссий, каждая из которых ведет определенной системы (периодом).

Задачи, стоящие перед комиссией, очень сложны, поскольку системы и входящие в них ярусы выделены давно, иногда более 150 лет назад, без четких границ между ними. Нередко они, будучи хорошими подразделениями для определенной области, не могут быть распознаны на других материках, что препятствует их включению в международную шкалу в историческом объеме.

### Эталонный разрез и точка в нем

Каждая межъярусная граница в соответствии с международным кодексом должна иметь эталон (стратотип, т.е. обнажение,

или, как чаще говорят геологи, — разрез). Выбором таких эталонов занимаются международные рабочие группы. Они изучают геологические разрезы, в которых пытаются выявить наиболее легко устанавливаемую в самых разных районах Земли границу между ярусами. Эталонный разрез с точкой в нем (последней может служить, например, место взятия образца) получил название «глобальный стратотипический разрез и точка» (GSSP). Эту точку еще называют «золотым гвоздем».

После выбора определенного уровня ищется его наиболее подходящий маркер. Маркерами могут служить инверсии магнитного поля Земли (которые проявляются глобально, а в геологическом масштабе времени мгновенно); иридиевые или углеродные аномалии; туфовые прослои, помогающие проводить удаленные корреляции. Но наиболее используются традиционные биомаркеры — виды организмов с четкими признаками и широким географическим распространением, возникающие в ходе эволюции вблизи определенного рубежа. В этом случае граница устанавливается по самому раннему появлению некоторого вида в еди-

ной последовательности предков и потомков. У многих ярусов палеозоя границы закреплены по конодонтам. Это ныне крайне важная группа вымерших морских рыбообразных организмов, близких современным миногам и миксинам, чей ротовой аппарат состоял из мельчайших (обычно менее 1—2 мм) фосфатных зубчиков. Она была открыта выдающимся отечественным палеонтологом Х.Пандером в 1856 г. Конодонты плавали в толще воды, были широко распространены, имели сравнительно небольшую зависимость от условий среды и высокие темпы эволюции.

На сегодняшний день для карбона утверждены стратотипы четырех границ (рис.1, 2).

Нижняя граница карбона (она же нижняя граница миссисипской подсистемы и турнейского яруса) — разрез Ла-Серре в горах Монтань Нуар на юге Франции. Основание пенсильванской подсистемы (или среднего карбона по шкале России) и одновременно башкирского яруса — разрез Эрроу-Каньон, штат Невада, США. Нижняя граница визейского яруса карбона — разрез Пенчон, расположенный в провинции Гуанси в Южном Китае. И верхняя граница карбона (или, что правильнее, основание пермской системы) — разрез Айдаралаш в Мугоджарах, Западный Казахстан.

В карбоне осталось выбрать эталоны нижних границ серпуховского, московского, касимовского и гжельского ярусов. Они впервые были выделены в России в окрестностях Москвы. Однако здесь, где морской бассейн того времени был крайне мелководным, часты перерывы. Более же полные разрезы этих ярусов находятся на Урале.

### Поиск и выбор эталона — это процесс

Выбору эталонного разреза предшествует многолетняя работа. На первом этапе изучают



Рис.2. Местонахождения типовых регионов ярусов (1—3) и стратотипов (GSSP) на карте мира. 1 — Динантский бассейн (турнейский и визейский ярусы); 2 — Московская синеклиза (серпуховский, московский, касимовский и гжельский ярусы); 3 — Южный Урал (башкирский ярус). GSSP отмечены звездочкой.

ся разрезы, расположенные на разных континентах, в областях с различными условиями накопления осадков — мелководные, глубоководные. Далее определяются маркеры, которые выдерживаются на значительных площадях. Биомаркер для конкретной точки выбирается путем голосования. Специалисты, входящие в рабочую группу, совместно проводят комплексные исследования и совещания, для того чтобы изучать один и тот же разрез различными методами, отбирать образцы из одних и тех же пластов, а потом совместно просматривать коллекции для однозначного понимания вида-маркера.

Такое совещание Международной подкомиссии по карбону и одновременно ее рабочих групп 11–19 августа 2009 г. проходило в Подмосковье и на Урале. Российские специалисты показали исторические типовые разрезы ярусов, вошедших в глобальную хроностратиграфическую шкалу, и разрезы, предлагаемые в качестве эталонных для некоторых границ карбона.

В организации совещания приняли участие ведущие учреждения Российской академии наук: Палеонтологический институт им.А.А.Борисяка, Институт геологии Уфимского научного центра, Геологический институт, а кроме того, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им.А.П.Карпинского и Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова.

В полевом совещании приняли участие более 50 специалистов из разных стран — Великобритании, Израиля, Ирландии, Казахстана, Канады, Китая, России, Словении, США, Узбекистана, Японии. Этому предшествовали многолетние комплексные детальные исследования каменноугольных отложений, проводившиеся в рамках научных тем геологических организаций и проектов РФФИ.

### Что мы предлагаем в качестве эталонов

В программу полевого совещания входил осмотр типовых разрезов в Подмосковье и опорных разрезов на Урале, в том числе тех, которые могли бы претендовать на мировой эталон.

Разрезы Южного Урала по рекам Сиказа и Зиган, вскрывающие пограничные отложения девона и карбона, привлекли большой интерес участников экскурсии. В Северном полушарии здесь отмечается кратковременное изменение условий седиментации — среди извест-

няков появляются черные глины и глинистые сланцы. Этот событийный уровень получил название хангенбергского события, обнаруженного впервые в Германии. Вероятно, оно проявилось и на Урале, где также отмечаются прослой глинистых пород (рис.3). Но самое главное — присутствие тех же конодонтов, что и в стратотипе во Франции. В наших разрезах выявлена последовательная смена конодонтов единой филогенетической линии рода *Siphonodella*. Недавно вид-маркер нижней границы карбона *S.sulcata* на юге Франции был найден ниже, чем ему

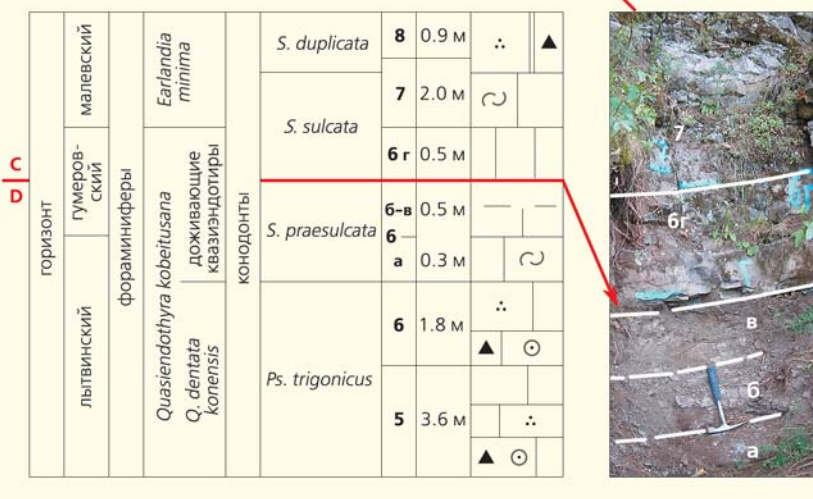


Рис.3. Пограничные отложения девона и карбона в разрезе Сиказа (Урал). Цифрами показаны номера слоев. Слева на колонке красной линией обозначена граница девона и карбона. Слой б сложен рыхлым сильно глинистым известняком, что свидетельствует о проявлении здесь хангенбергского события.

положено, в связи с чем образована объединенная рабочая группа, которой придется решать, заменять ли маркер, переносить границу ниже или выше с использованием других видов кокондонтв.

Серпуховский ярус выделен в Подмоскowie С.Н.Никитиным еще в 1890 г., стратотипом его служит карьер Заборье, расположенный у южной окраины г.Серпухова. Другой опорный разрез — Новогуровский карьер в Тульской обл. Там вскрыты еще отложения визейского яруса. Слагающие серпуховский ярус известняки содержат остатки разнообразных водорослей, фораминифер, мшанок, брахиопод, морских лилий, брюхоногих моллюсков, богатую фауну рыб.

Определение нижней границы серпуховского яруса включено Международной подкомиссией в число приоритетных задач, над которой работают с 2002 г. Большинство специалистов считают, что наилучшим корреляционным потенциалом на сегодня обладает эволюционное появление вида кокондонтв *Lochriea ziegleri* в линии *Lochriea nodosa* — *L.zieg-*

*leri*. Но в Подмоскowie серпуховские известняки залегают на размытой и растворенной поверхности визейского известняка. Скорее всего, появление серпуховских видов связано со сменой условий, а не с эволюцией.

В разрезе Верхняя Кардаилловка на восточном склоне Южного Урала в Башкирии серпуховский ярус представлен в полном объеме. Там за длительное время в глубоководных условиях накопилась небольшая толща осадков (37 м). Для сравнения укажем, что в недалеко расположенном мелководном разрезе по р.Худолаз к серпуховскому ярусу относятся 550 м, т.е. почти в 15 раз больше!

В последние годы мы получили новые данные по пограничным отложениям визейского и серпуховского ярусов в этом разрезе: пройдены каналы, где породы были закрыты осыпью, получена полная последовательность верхневизейских и серпуховских кокондонтв в одном обнажении, и дано обоснование границы по таким важным группам организмов, как аммоноидеи и фораминиферы. В пограничном интервале

ле также изучены остракоды, радиоларии, найдены одиночные кораллы.

Разрез Верхняя Кардаилловка предложен рабочей группой России в качестве глобального эталона нижней границы серпуховского яруса и представлялся на экскурсии (рис.4).

Специалисты положительно оценили фаунистическую характеристику, однако нашелся и минус. Хотя здесь неоспоримо, по нескольким группам фауны, доказано присутствие верхневизейских пород, видно всего 3 м отложений, а этого мало для международного эталона. Задержанная часть в 2000 г. вскрылась шурфами, но в двухстах метрах от основного разреза (там покров четвертичных отложений тоньше). А нужно, чтобы весь разрез был открыт в одном обнажении.

Как быть? Выход, как всегда, есть — надо раскопать закрытый участок. Недолго думая, российские геологи поехали в пос.Пригородный и с помощью плуга (!) и ковша тракторов подготовили расчистку. В итоге удалось отрыть еще три метра. Копали все, во главе с председателем подкомиссии (рис.5, 6).

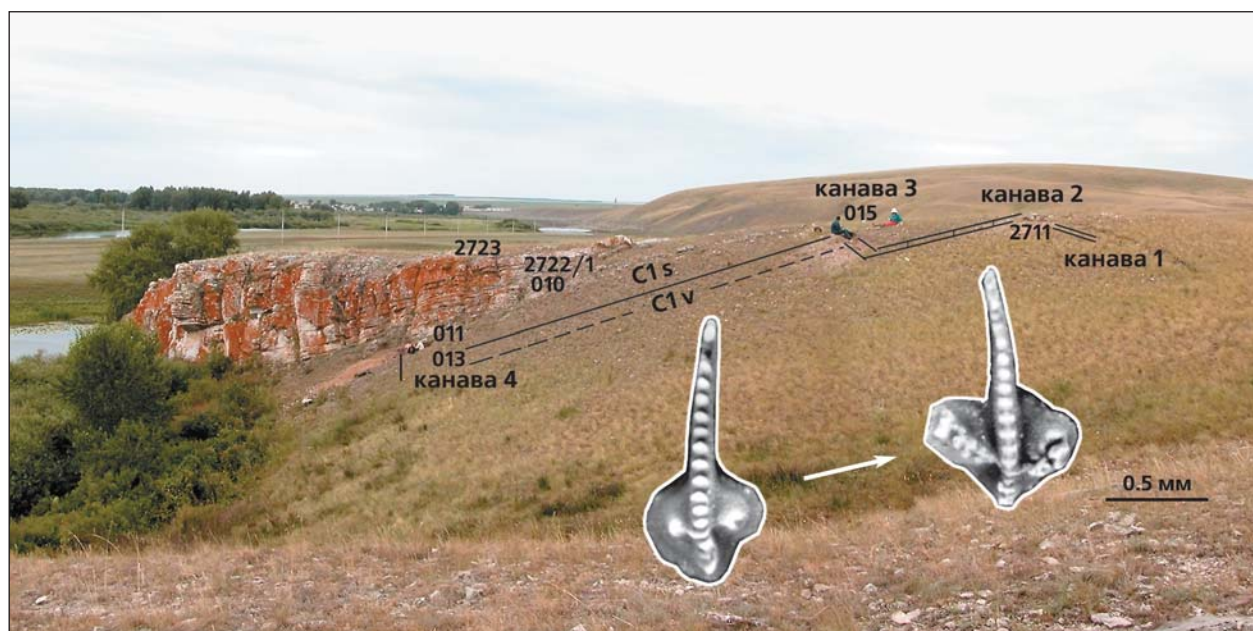


Рис.4. Пограничные слои визейского и серпуховского ярусов в разрезе Верхняя Кардаилловка (Башкирия, Южный Урал).



Рис.5. Раскопки на разрезе Верхняя Кардаиловка (Башкирия).

Дело было к вечеру, и участникам экспедиции показалось, что вскрытый разрез имеет серьезный недостаток — нарушен разломом. А это значит, что ни о каком стратотипе речи быть не может. Однако на следующий день раскопки продолжили, и оказалось — слои просто перекрыты оползшей глыбой.

Но, впрочем, дело еще не кончено, предстоит еще продолжать раскопки, чтобы детально, по сантиметру, отобрать образцы для изучения тонких особенностей накопления древних осадков, установить изотопный состав кислорода и углерода в известняках, реконструировать колебания уровня моря и климатические сдвиги.

Следующая граница — основание московского яруса. В качестве одного из маркеров обсуждается конодонтовый вид *Declinognathodus donetzius*, описанный в Донбассе и присутствующий в Подмосковье.



Рис.6. Расчистка канавы. Слева — сотрудник Института геологии Уфимского научного центра РАН В.Н.Барышев, справа — Б.Ричардс, председатель Международной подкомиссии по каменноугольной стратиграфии.



Но этот вид, кроме Южного Урала и ряда мест Западной Европы, больше нигде не обнаружен.

Один из наиболее изученных регионов России, где присутствуют непрерывные карбонатные разрезы пограничного башкирско-московского интервала, — Южный Урал (типовой регион башкирского яруса). В пограничных отложениях башкирского и московского ярусов распределение конодонтов установлено в нескольких местах, однако комплексы имеют специфические особенности и маркерный вид пока известен только в одном разрезе — в небольшом карьере на правом склоне р. Басу. Ценность разреза по р. Басу состоит еще и в том, что он содержит помимо конодонтов ископаемые остатки фораминифер и брахиопод (рис.7).

В то же время специалисты из Китая предложили в качестве маркера другую эволюционную

линию конодонтов, а именно *Diplognathodus coloradoensis* — *D. ellesmerensis*, а в качестве типового разреза — Нацин в Южном Китае. Китайский разрез прекрасно обнажен (вскрыт дорожной выемкой), непрерывен и глубоководен. Но и он требует дальнейшего изучения. Явный его недостаток — полное отсутствие макрофауны. Вероятно, вопрос с выбором маркера основания московского яруса решится, когда разрез Нацин будет всесторонне изучен.

Граница московского и касимовского ярусов также пока не получила своего маркера. Морские фауны различных бассейнов этого времени почти не имеют общих видов организмов, так как частые периоды похолодания приводили к падению уровня океана и изоляции морей. Один из потенциальных кандидатов (хотя далеко и не идеальный), расположенный

в Афанасьевском карьере (Подмосковье), участникам экскурсии увидеть не удалось. Его владелец — французская компания Лафарж Цемент Групп — по недуманным причинам не дала разрешения на посещение. Этот недружественный акт противоречит международным правилам свободного доступа к объектам, претендующим на эталоны международной шкалы. Он нанес очевидный ущерб национальному престижу России.

Несколько лет назад в рабочей группе и подкомиссии было достигнуто принципиальное согласие о закреплении нижней границы гжельского яруса на уровне появления конодонтов *Idiognathodus simulator*. Это событие зафиксировано во многих районах земного шара, в том числе в стратотипе гжельского яруса в Подмосковье (рис.8) и в глубоководном разрезе Усолка в Башкирии на за-



Рис.7. Пограничные отложения башкирского и московского ярусов, разрез Басу, Южный Урал.



Рис.8. Стратотип гжельского яруса, разрез Гжель (Подмосковье). Цифрами показаны номера слоев. Между слоями 1 и 2 фиксируется перерыв в осадконакоплении, а появление вида-маркера *I.simulator* приурочено к уровню максимального углубления морского бассейна.

падном склоне Южного Урала. Вопрос о выборе стратотипа пока остается открытым.

\* \* \*

Надо сказать, что наряду с тесным сотрудничеством между национальными группами идет и определенная борьба за стратотипы и «золотые гвозди». Имеет место своего рода геополитика. Считается большой честью доказать международному сообществу, что предлагаемый

разрез — наилучший. А наилучшим он становится не только в силу своего физического состояния (доступности, непрерывности, охарактеризованности разнообразной фауной, возможности изотопного датирования), но и от того, насколько тщательно изучен и интерпретирован собранный в нем материал. Это уже показатель научного уровня специалистов той страны, от которой предлагается разрез.

Предполагается, что многие вопросы будут решаться на планируемом в ноябре 2010 г. совместном заседании рабочих групп, которое предложили провести в Нанкине китайские коллеги. Предстоят жаркие дискуссии, споры о видах-маркерах, полноте и непрерывности разрезов. Есть надежда, что будут сделаны решительные шаги к завершению оформления международной шкалы каменноугольной системы. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 07-05-00997, 09-05-00101 и 09-05-06056.**

# Уровень Байкала из иллюминатора «Мир»

Член-корреспондент РАН А.К.Тулохонов

Байкальский институт природопользования СО РАН

Улан-Удэ

Как известно, современный уровень Байкала — самого древнего озера планеты — расположен на отметке 456 м и в небольших пределах колеблется из-за сезонных изменений климата. Однако на протяжении более чем 20 млн лет со времени своего возникновения водное зеркало колебалось в более крупных масштабах.

На берегах озерной котловины результаты более высокого стояния озерных вод фиксируются аккумулятивными песчано-галечными террасами на высотах до 100—120 м. Такие уровни отмечаются в разных местах Байкальской впадины в районе южной котловины — от станции Танхой до пос.Выдрино, на Ушканьих о-вах, от губы Фролиха до Хакус. Многие исследователи считают, что 2—0.6 млн лет назад, в эоплейстоцене, когда уровень озера был значительно выше, байкальские воды служили истоком р.Лены в районе Манзурской перемычки.

Более низкие (20—30-метровые) террасы известны в устье р.Тыя, на мысе Фролова, в пос. Оймур, в низовьях рек Мантуриха, Осиновка, Мишиха. Самые молодые, 5—10-метровые, озерные уровни формируют аккумулятивные берега вдоль всего восточного побережья озера.

Таким образом, можно утверждать, что на протяжении всего антропогена (около 1 млн лет) уровень озера был значительно выше и постепенно сформировался в современных контурах береговой линии. Судя

по сохранности разновозрастных террас, с определенной долей вероятности можно утверждать, что крупных пульсаций водного режима не происходило и вектор гидрологического режима был ориентирован на последовательное понижение. В противном случае более низкие террасы были бы размыты при повышении уровня.

В равной степени можно было бы предположить колебания уровня озера ниже его современного состояния. Однако сделать такие выводы без детальных батиметрических и визуальных наблюдений практически невозможно. Во-первых, не каждая плоская площадка на подводном склоне может быть образована волноприбойной деятельностью. Во-вторых, даже поднятые драгой валун или галька могут скатиться вниз с современного пляжа.

Совершенно новые возможности изучения геоморфологического строения подводного рельефа озерной котловины представились во время экспедиционных работ с использованием глубоководных обитаемых аппаратов «Мир» в сезоны 2008—2009 гг.

Следует отметить, что эта экспедиция с использованием обитаемых подводных аппаратов была уже третья по счету. Ранее подводные аппараты «Пайсис» использовались в 1977 и 1990—1991 гг. К сожалению, в этих исследованиях практически не рассматривались особенности геоморфологического и литологического строения дна озера.

Возможности «Мир» намного превосходят технические параметры своих предшественников. Это одни из немногих в мире автономных плавательных аппаратов, способных погружаться с пилотом и двумя наблюдателями на глубины до 6 км в соленых морских водах. Жизнеобеспечение таких батискафов рассчитано на срок до 3 сут. Они оборудованы двумя манипуляторами, камерами для подводной съемки и набором различных датчиков и пробоотборников.

В сезон 2008 г. основные исследования проводились в южной и средней впадинах Байкала с максимальными отметками соответственно 1400 и 1600 м. Кроме различных гидробиологических, гидрохимических и других исследований автор особое внимание уделил изучению строения рельефа склонов и дна подводной впадины.

Уже во время первых погружений вблизи о.Ольхон на глубинах около 800 м были подняты отдельные хорошо окатанные валуны и гальки. Однако гидронавты не зафиксировали местонахождение этого материала, поэтому мы предположили, что он появлялся на таких глубинах в результате сползания по крутому склону из современных пляжей, расположенных вдоль скал восточного побережья острова.

На следующих погружениях автором были зафиксированы слои валунно-галечного материала, которые фиксируют древние пляжи озера на глубинах до 820 м вдоль восточного склона острова, на глубине 640 м вбли-



Рельеф южной впадины оз. Байкал из иллюминатора ГОА «Мир».

Здесь и далее фото автора

зи пос. Голоустное, 450 и 220 м — напротив Байкальска.

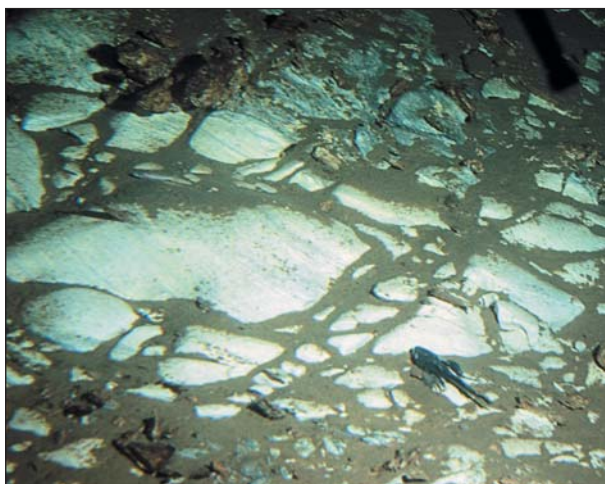
При этом валунно-галечные слои имеют мощность не более 1—2 м и, прерывисто изгибаясь, исчезают из поля зрения прожекторов.

Можно предположить, что эти линии соответствуют древ-

ней береговой линии. Пляжный материал хорошо окатан и состоит в основном из мелких валунов и крупной гальки. Более мелкие фракции отсутствуют либо погребены под толщей песка. Точки наблюдения древних пляжей расположены на удалении от 3—5 до 10 км от совре-

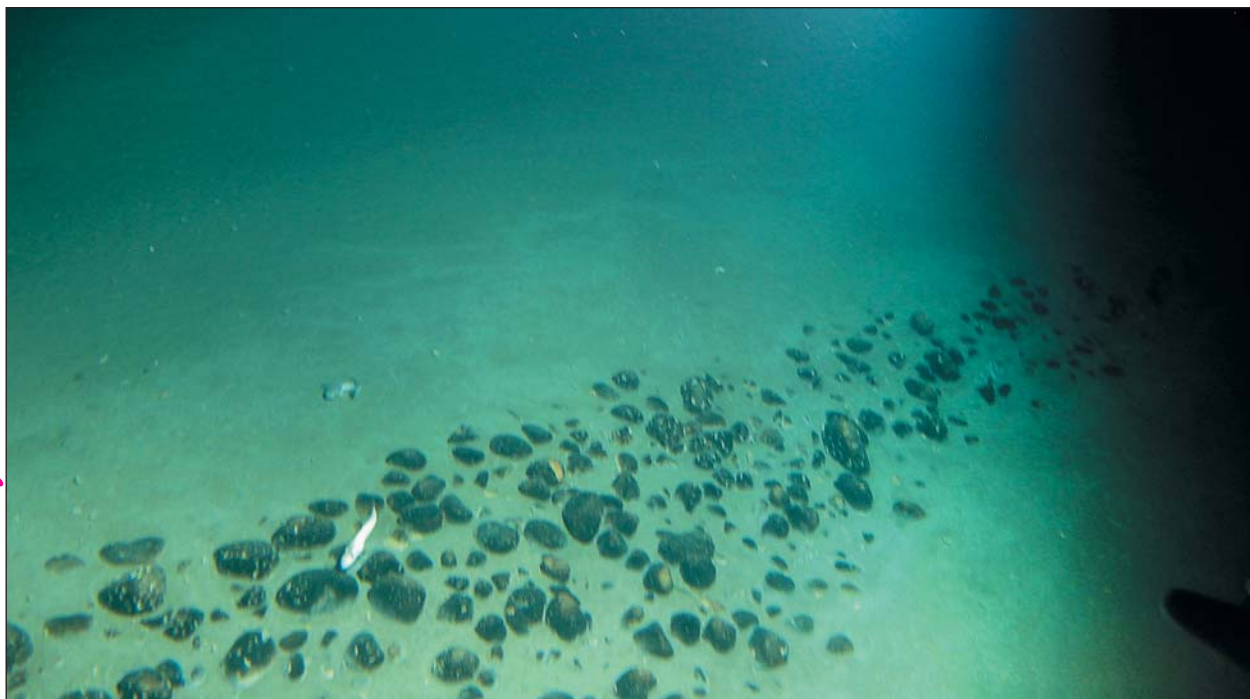
менного уреза воды. По петрографическому составу валунно-галечный материал соответствует выходам гранитных пород на берегу.

Как ни странно, все валуны и гальки покрыты только тонким слоем ила толщиной не более 2—3 мм независимо от глу-



Слой валунно-галечного материала.





Линейно расположенные галечные отложения напротив губы Фролиха в северном Байкале.

бины их расположения (и, возможно, разного возраста). Это может быть результатом крайне низкой скорости донного осадконакопления.

В сезон 2009 г. при погружении напротив губы Фролиха в северном Байкале на глубине 460 м зафиксированы линейно расположенные галечные отложения мощностью не более 1 м на сравнительно плоском песчаном днище озера.

Другим аппаратом «Мир-2» днем ранее в 600 м севернее подняты крупная галька и мелкий валун овальной формы, покрытые мелкими водорослями и зоопланктоном.

К сожалению, при отсутствии каких-либо датировок затруднительно определить время формирования древних береговых линий. Тем не менее палеогеоморфологический анализ этих отложений позволяет сделать вывод, что на ранних этапах эволюции озера его уровень был более чем на 800 м ниже современного положения водного зеркала.

И далее его уровень последовательно поднимался до отме-

ток, на которых расположены эти валунно-галечные отложения. Таких уровней во всех трех котловинах озера обнаружено не менее четырех. Самый древний — на 840 м ниже современного уреза воды, следующий — на глубинах около 640 м, далее идут отметки 400—450 м и около 200 м. При этом в районе пос. Голоустное и Байкальска фиксируются уровни 640 и 450 м.

Вряд ли правомерно предполагать, что разная высота древних пляжей — результат неотектонической дифференциации береговых морфоструктур.

Скорее всего, наполнение озерной котловины водной массой происходило в межледниковое время после таяния горных ледников последовательно. Соответственно в периоды антропогенных похолоданий, когда основная влага концентрировалась в ледниковых полях, формировались очередные озерные палеоуровни.

Наиболее детально схема четвертичного периода разработана для Западной Сибири, где выделены: самарское, ка-

занцевское, каргинское оледенения и соответствующие межледниковья. Древние байкальские уровни могут соотноситься с этими стратиграфическими разделами.

В Северном Прибайкалье установлены морены разного времени — боковые в бортах губы Фролиха и Аяя, конечные вдоль западного склона Байкальского хребта в долинах рек Улькан, Окунайка, Кунерма, Чая и др. Этим моренным комплексам соответствуют четыре уровня ледниковых каров в гольцовом поясе Баргузинского хребта.

Такие возрастные сопоставления дают основание утверждать, что в развитии Байкальской озерной котловины было не менее четырех периодов последовательного повышения уровня и, вероятно, такое же количество периодов стабилизации и формирования аккумулятивных пляжей. Иное объяснение этих образований, обнаруженных автором из иллюминаторов глубоководных обитаемых аппаратов «Мир» на дне оз. Байкал, дать трудно. ■

# Национальный атлас России

Академик РАН М.Ч.Залиханов, член-корреспондент РАН А.Н.Чилингаров, депутаты Госдумы ФС РФ

В 2009 г. вышел четвертый, последний, том Национального атласа России — фундаментального научно-справочного картографического издания, отображающего все важнейшие аспекты современной России — ее историю, природные условия и ресурсы, население, экономику, культуру. История создания атласа восходит к 1960-м годам, когда лидер советской картографии К.А.Салищев выступил с обоснованием необходимости издания Национального атласа СССР. Шли годы, идея создания атласа периодически обсуждалась в кругу картографов и географов, но только во второй половине 1990-х годов, когда не стало СССР, а на карте появилась Россия, от обсуждения перешли к разработке концепции атласа, а затем непосредственно к его составлению. Ведущие географы, картографы, историки, геологи из Институтов географии, российской истории, археологии Российской академии наук, а также Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова (географического и почвенного факультетов), Всероссийского геологического института им.А.П.Карпинского, Главной геофизической обсерватории, Всероссийского научно-исследовательского института культурного и природного наследия им.Д.С.Лихачева и многих других учреждений страны во главе с Производственным картографическим объединением «Картография» в течение пяти лет создавали Национальный атлас России.

Первый том («Общая характеристика территории», главный

© Залиханов М.Ч.,  
Чилингаров А.Н., 2010



Четыре тома Национального атласа России.

редактор А.Н.Краухин) вышел в 2004 г. Он открывается предисловием Президента РФ В.В.Путина. В том систематически изложена история формирования, исследования и картографирования территории России, показано современное федеративное устройство страны, приведены физико-географические карты крупных регионов и морей России. Важное место в нем занимают космические изображения различных районов страны, размещенные на 67 страницах в конце региональных подразделов «Европейская часть России», «Азиатская часть России» и «Российская Арктика».

Подбор космических снимков в атласе, с одной стороны, отражает закономерности строения и развития компонентов географической оболочки, некоторые ее общие черты и индивидуальные особенности отдельных объектов и явлений природы, а с другой — дополняет локальные особенности ландшафтного строения.

На трех шмуцтитульных страницах каждого раздела приведены схемы привязки космических снимков к территории России, что позволяет оценить степень их репрезентативности по отображению природного разнообразия нашей страны. Названия снимков даны по основному географическому объекту, изображенному на них. Каждый снимок сопровождается краткой, но емкой характеристикой изображенной на нем территории. Здесь же помещается адресная карта, позволяющая более точно привязать снимок к территории России и информировать читателя об основных географических объектах, изображенных на нем.

Снимки в атласе в основном цветные (или синтезированные), достаточно высокого разрешения, масштабов 1:200 000 — 1:400 000, полученные с отечественных космических аппаратов серии «Ресурс». Приводятся и обзорные черно-белые сканерные снимки с автоматических косми-

Качество совмещены



Северная часть оз. Байкал (Т.1. С.300).

ческих аппаратов «Метеор» и «Океан» важнейших и интереснейших с географической точки зрения территорий — Кавказа и Камчатки. Это очень удачное, на наш взгляд, решение — показать не только интересные локальные территории, но и большие по размерам и важные регионы.

Авторами проведена многоплановая работа по обеспечению внутренней согласованности и единства, логического построения представленной информации.

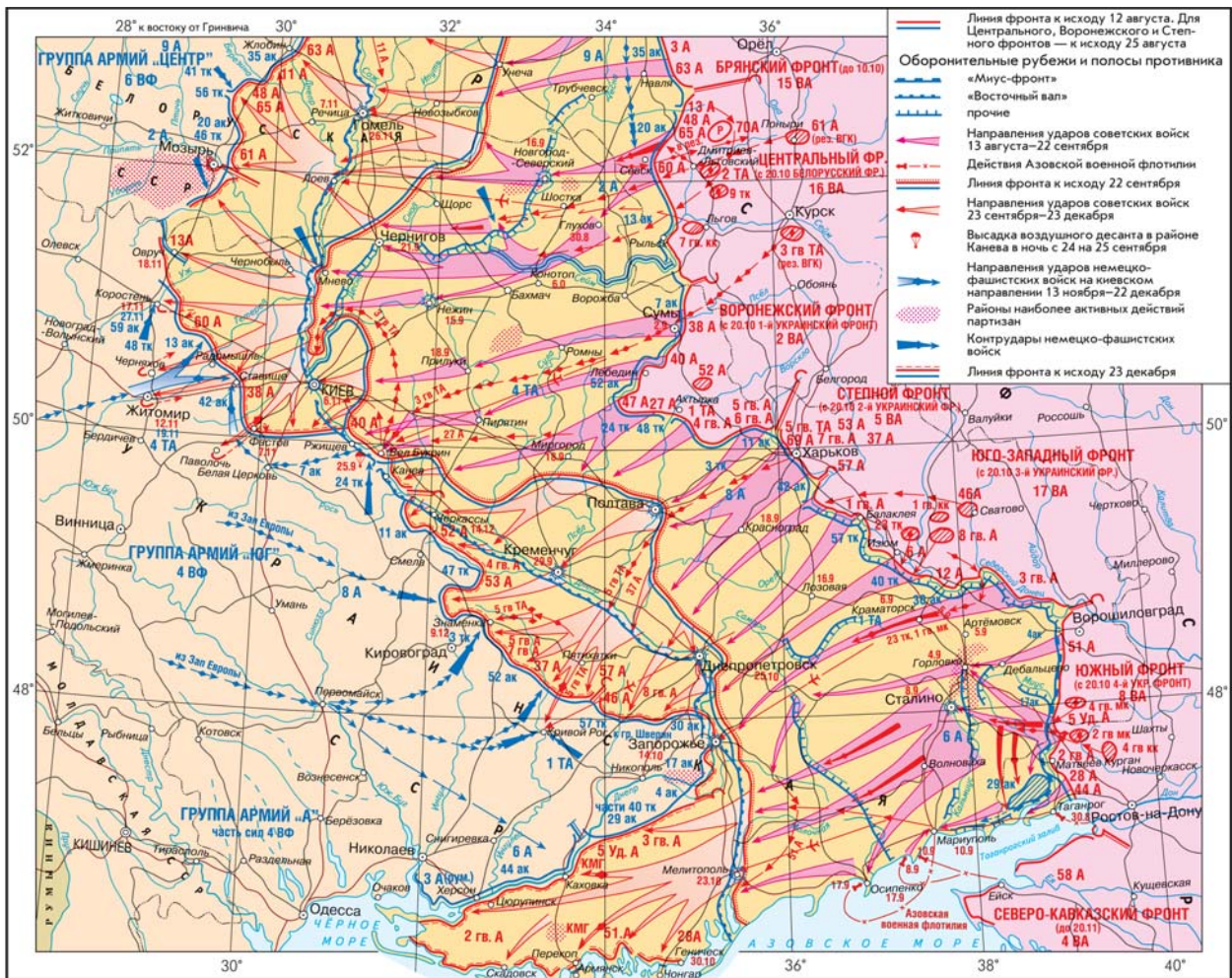
Материалы космических съемок, сопровождаемые аннотациями, обогащают и конкретизируют информацию, передаваемую картами, выступают в

качестве самостоятельных компонентов содержания атласа, дают мощное средство научных исследований, обучения, демонстрируя различные возможности интерпретации снимков из космоса.

Их включение в атлас усилило изучение содержания и восприятия, придало ему характер комплексного и многопланового картографического произведения. Космические снимки, несомненно, не только украсили атлас, но существенно его обогатили в содержательном и географическом плане.

Второй том атласа («Природа. Экология», главный редактор — географ, геолог и гляциолог академик В.М.Котляков) по-

священ разностороннему отображению природных условий и ресурсов России, а также экологическому состоянию ее территории. Том начинается с раздела «Эволюция природной среды», в котором на серии карт показаны изменения природной среды с плейстоцена (800 тыс. лет назад) по настоящее время. Здесь же изображены границы оледенений четвертичного периода, основные стоянки первобытного человека, динамика береговой линии морских бассейнов. Среди геологических карт особого внимания заслуживают новые карты тектоники, геодинамики и четвертичных образований, составленные по самым последним данным Всероссий-



Масштаб 1:4 500 000

Великая Отечественная война СССР. 1941—1945 гг. Битва за Днепр, август—декабрь 1941 г. (Т.4. С.182).

ским геологическим институтом им.А.П.Карпинского. На картах рельефа отображена его орография, морфоструктура (крупные формы рельефа эндогенного происхождения) и морфоскульптура (формы рельефа экзогенного происхождения), современные рельефообразующие процессы, сели. Очень интересна карта «Карст. Пещеры», на которой выделены различные типы карста на территории страны и крупнейшие пещеры.

Раздел «Климат» подробно раскрывает многообразие климатических условий нашей страны, распределение метеорологических элементов, а также современные изменения климата. В разделе «Воды суши»

даны гидрологическая и гидрохимическая характеристики поверхностных вод, их качество, использование и загрязнение.

Большое внимание в томе уделено характеристике нивально-гляциальных объектов и явлений — ледников, вечной мерзлоты, снежного покрова, снежных лавин, заторов, зажоров и наледей. И это вполне закономерно в силу северного географического положения России, где широко представлены ледниковые покровы (на арктических островах) и горные ледники, где снег выпадает фактически повсеместно, а вечная мерзлота занимает 65% территории страны. Кроме того, приводится информация

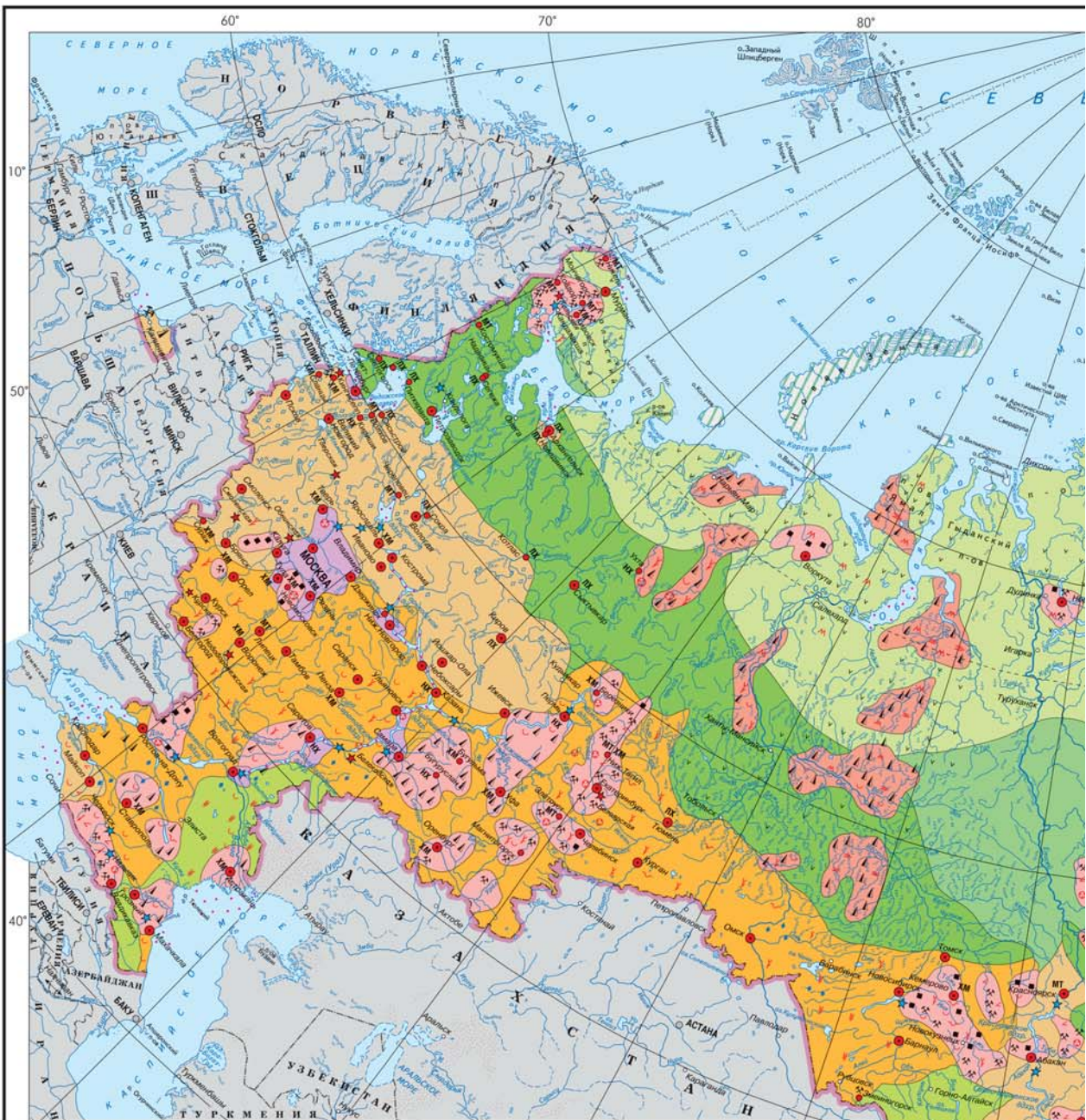
о пульсирующих ледниках и конкретно рассмотрены катастрофические последствия подвижки ледника Колка на Кавказе 20 сентября 2002 г.

В томе достаточно подробно картографически представлена информация обо всех тринадцати омывающих Россию морях (включая Каспийское море-озеро). Карты характеризуют батиметрию, типы берегов, течения, осадки, температуру и солёность морей.

Широко показан почвенный покров, животный и растительный мир, ландшафты, особо охраняемые природные террито-

На с.56—57: Антропогенные нарушения природной среды (Т.2. С.426). ▶





ТЕРРИТОРИИ ДЕСТРУКЦИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ АНТРОПОГЕННОЙ (ТЕХНОГЕННОЙ) ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Типы функциональной нагрузки на природную среду (по преобладающему характеру землепользования)	Компоненты природной среды, подвергающиеся деструкции в результате техногенного воздействия	Типы функциональной нагрузки на природную среду (по преобладающему характеру землепользования)	Компоненты природной среды, подвергающиеся деструкции в результате техногенного воздействия
<p> Промышленный-сельскохозяйственный (промышленно-сельскохозяйственные агломерации с входящим аграрным комплексом)</p> <p> Горно-промышленный комплексный (горно-добывающие предприятия с горно-обогатительными и горно-металлургическими комплексами, промышленными центрами и аграрным комплексом)</p>	<p>состав и температура приземного слоя атмосферы, почвенно-растительный покров, структура грунтов, динамика поверхностных и подземных вод, геохимические характеристики почв, грунтов, поверхностных и подземных вод</p> <p>состав и температура приземного слоя атмосферы, почвенно-растительный покров, структура грунтов, динамика поверхностных и подземных вод, геохимические характеристики почв, грунтов, поверхностных и подземных вод, значительное изменение рельефа</p>	<p> Пашотный</p> <p> Пашотно-животноводческий (в лесной зоне)</p> <p> Пастбищный а) оленеводство</p> <p> б) овцеводство, коневодство</p> <p> Лесохозяйственный (с очаговым аграрным)</p> <p> Ограниченного землепользования с техногенной нагрузкой а) очаговой</p> <p> б) редкочаговой</p>	<p>почвенно-растительный покров, структура грунтов – фрагментарно, динамика поверхностных и грунтовых вод – фрагментарно, геохимические характеристики почв, поверхностных и грунтовых вод, риск пылевых бурь</p> <p>почвенно-растительный покров – фрагментарно, геохимические характеристики почв, поверхностных и грунтовых вод – фрагментарно</p> <p>почвенно-растительный покров – фрагментарно</p> <p>почвенно-растительный покров – фрагментарно, динамика поверхностных и грунтовых вод – фрагментарно</p> <p>деструкция имеет улокальный характер</p>
<p> Рудники</p> <p> Угольные шахты и разрезы</p> <p> Нефте- и газопромислы</p>	<p>состав приземного слоя атмосферы, почвенно-растительный покров, структура грунтов, крупнообъемные выемки и насыпи-отвалы, динамика поверхностных и подземных вод, геохимические характеристики почв, грунтов, поверхностных и подземных вод, их механическое пылевое загрязнение</p> <p>то же, что у рудников, при больших объемах отвалов, загрязненность, риск подземных взрывов, пожаров, просадок</p> <p>нарушение структуры почво-грунтов, загрязнение поверхностных и подземных вод, изменение состава и температуры нижних слоев атмосферы – сжигание попутного газа, риск пожаров и техногенных землетрясений</p>		



ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ, ИНТЕНСИФИРУЕМЫЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

- лавины и обально-осельные
- сели
- процессы и явления, связанные с вечной мерзлотой (термокарст, наледи, термоэрозия и др.)
- овражно-балочная эрозия
- оползни
- просадки в лёссовых породах
- карст
- опустынивание (засоление)
- заболачивание

ОБЪЕКТЫ ОСОБОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗНАЧЕНИЯ

Промышленные центры

- крупные промышленные центры с разнообразными экологически опасными производствами (ТЭЦ, транспорт, металлургическое производство, химические предприятия и др.)
- прочие промышленные центры с особо экологически опасными производствами:
- МТ металлургическими
- ХМ химическими
- ЛХ лесохимическими
- НХ нефтехимическими

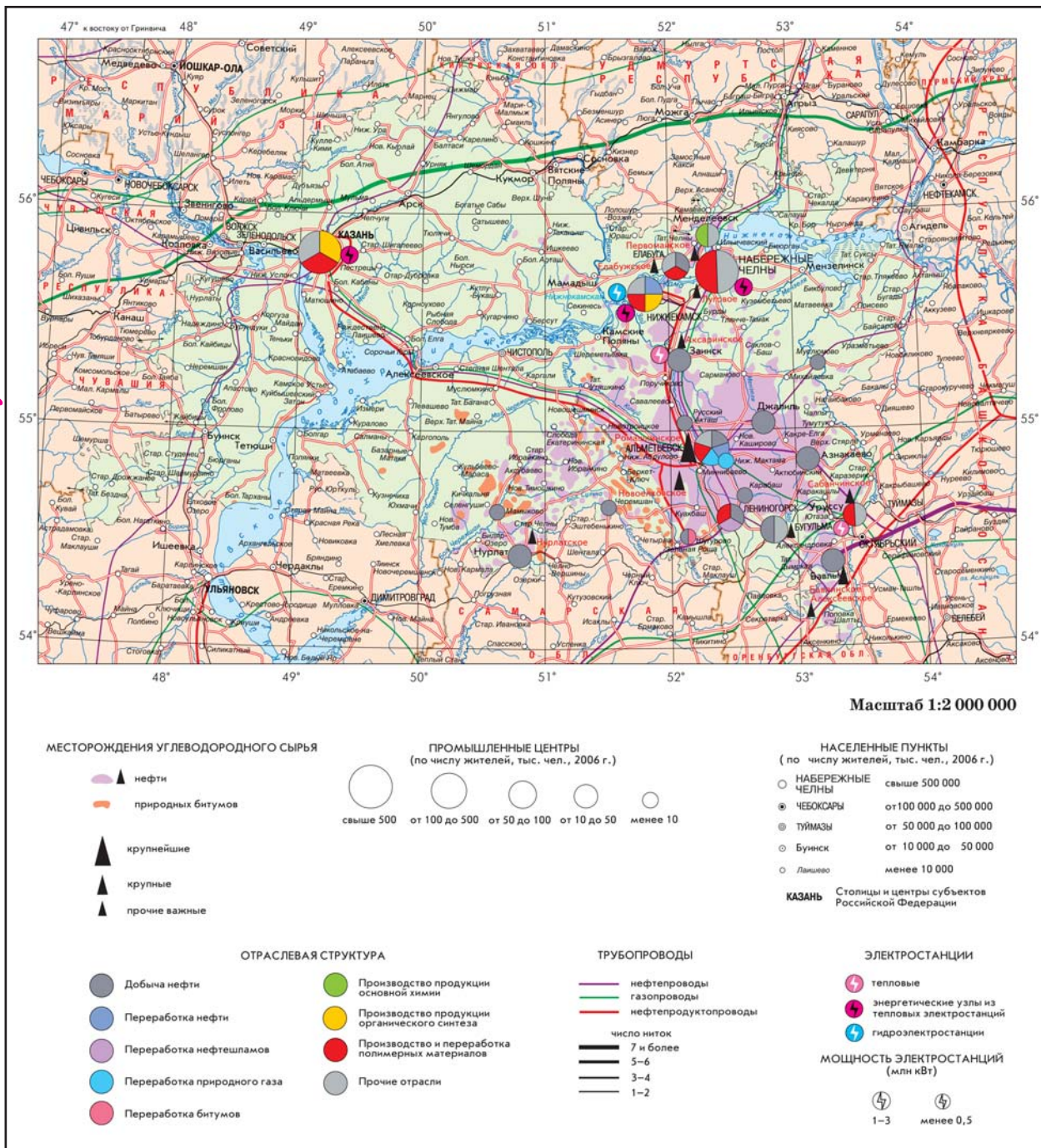
Энергетические

- АЭС
  - ГЭС
- Водохозяйственные
- площади осушения
  - площади орошения

Прочие обозначения

- значительные площади нарушения почвенно-растительного слоя или почвогрунтов (массовое использование гусеничной техники, драг и др.)
- загрязнение акваторий

Масштаб 1:15 000 000



Топливо-энергетический комплекс. Нефтегазохимический комплекс Республики Татарстан (Т.З. С.254).

рии. Огромное внимание уделено состоянию окружающей среды, в том числе радиоактивному загрязнению территории страны после аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г.

Почти в каждом разделе тома содержатся карты природного районирования террито-

рии России — тектонического, геоморфологического, климатического, почвенно-географического, флористического, физико-географического и др. Разнообразные фотографии и емкие тексты дополняют и поясняют содержание тематических карт.

Третий том Национального атласа России («Население. Экономика», главный редактор В.С.Тикунов) представляет собой многоцелевой экономико-демографический срез современной России и ее место в мире. Карты тома дают подробную характеристику состава населе-



# К истоку реки Лены

В.А.Сарана,

кандидат географических наук

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

Вести из экспедиций

Второй год подряд мы, члены Московского центра Русского географического общества, продолжаем съемки серии научно-популярных фильмов о природе великой сибирской реки Лены. В прошлом году мы работали в среднем течении реки и сняли ленту о Ленских столбах, в этом — отправились в верховье реки.

Сибирь по-прежнему хранит много тайн и загадок. Сегодня на ее безлюдных просторах еще есть места, где неопытный человек может сбиться с пути и сгинуть навсегда. Одно из таких диких мест лежит в верховьях Лены. Мы отправимся туда, чтобы там отыскать ее исток и узнать, что же такое настоящая тайга.

© Сарана В.А., 2010

## От Бирюльки на лодке

Таежная деревня Бирюлька. Это последнее населенное место на Лене, где постоянно живут люди. Дальше вверх по реке — тайга, и без опытного проводника туда нам дорогу не найти. Наши друзья в Иркутске порекомендовали нам местного охотника, который живет в Бирюльке, и теперь нам предстояло разыскать его. Сейчас в деревне время сенокоса, поэтому большинство жителей заняты заготовкой сена, и мы опасались, что проводника не застанем дома. И тогда наше путешествие могло сорваться. Но нам повезло, Геннадий оказался дома. Сено он уже заготовил и занимался его просушкой.

Всю свою жизнь Геннадий прожил в этих местах. В совет-

ское время он был профессиональным охотником и пешком исходил окрестную тайгу. Сегодня он работает инспектором в Байкало-Ленском заповеднике. Он один из немногих охотников, кто хорошо знает глухие места, и лучшего проводника нам не найти.

Геннадий согласился проводить нас к истоку Лены, но легкого пути туда не обещал. Чтобы добраться до самих верховьев реки, нам предстоит преодолеть более 300 км по абсолютно дикой тайге. А это непросто, тем более что мы здесь новички.

Летом, если есть такая возможность, в тайге проще передвигаться по реке, для этого местное население использует лодки сигарообразной формы, изготавливая их из авиационно-



Река Лена в окрестностях деревни Бирюльки.

Здесь и далее фото В.А.Сараны и Г.Пономарчука



Река Лена в верхнем течении.

го алюминия. Своеобразная конструкция позволяет проходить мелководные участки на реке и брать с собой много груза. Поначалу нам казалось, что лодка будет неустойчивой и может легко перевернуться. Но наши опасения были напрасны. Мы загрузили лодку и покинули Бирюлюку.

Выше деревни Лена углубляется в горы, поэтому ее течение становится быстрым, рулевому нужно быть всегда начеку. На реке полно мелей, и велика опасность налететь на камень или затонувшее дерево. Самое опасное место — это быстрины, которые сваливаются в завалы плавника. Если лодку затянет туда, спасения не будет. В таких местах на Лене утонуло много беспечных людей. Геннадий уверенно вел нашу лодку, разменивая поворот за поворотом и повода волноваться нам не было. Риск в тайге неуместен, здесь нужны трезвый рассудок и крепкая воля, которыми несомненно был наделен наш проводник.

Низкие тучи и временами моросящий дождь не могли омрачить нам настроение. Забираясь все выше по реке, мы погружались в неведомый мир тайги. Ее таинственный наряд манил к себе.

Наша лодка накручивала по речным петлям километры, и мы не заметили, как пролетел первый день пути. К вечеру добрались до деревни Чанчур, где со своей внучкой, гостившей у него на каникулах, нас встречал Михалыч. Так, только по отчеству, зовут здесь колоритного, похожего на профессора университета, инспектора Байкало-Ленского заповедника заповедника, который начинается недалеко отсюда.

Еще 30 лет назад эта деревня была обитаемой, но со временем жители покинули эти места, переселившись поближе к цивилизации, где есть свет и автодорога. Теперь люди приезжают сюда только на короткое время, как бы на дачу. Поэтому, живя большую часть года в одиночку,

Михалыч вынужден самостоятельно заботиться о пропитании. Несмотря на то что по ночам температура здесь может опускаться до нуля, он выращивает огурцы, морковь, картошку и лук, обеспечивая себя самым необходимым на долгую зиму. Такому урожаю, как у Михалыча, может позавидовать любой садовод из южных районов.

Миновав Чанчур, мы окунулись в заповедный мир, но тайга почему-то была пуста, казалось, что лес мертвый и вокруг нет никакой живности. Возможно, мы распугали всех обитателей тайги ревом лодочного мотора? Оказывается, не совсем так. Геннадий нам объяснил, что в августе большинство животных уходят в глубь тайги, подальше от реки. Сейчас в лесу комары и гнус не так сильно досаждают животным, как в июле, и спастись от них в воде уже нет необходимости. Поэтому встретить в это время на реке зверей — всегда большая удача. И вот по берегу бежит косуля, вдруг рез-



Привал у костра.

ко бросается в воду и плывет нам наперерез. Чем она руководствовалась, может, ее преследовали волки?

Повсюду на поворотах реки громоздились завалы плавника, и чем выше мы поднимались по реке, тем их становилось больше. И это понятно, ведь река здесь становится мельче и уже, поэтому деревья, подмытые ре-

кой, не могут протиснуться по руслу и образуют на поворотах заторы. Здесь эти природные плотины называют «ломы». Иногда они полностью перегораживают русло, и река начисто исчезает в нагромождении стволов и веток. Самый большой завал на Лене существует уже десятки лет, он даже получил собственное имя — Курумлинский



Лошади провалились в болото.

лом. Каждую весну, когда спадет в реке вода, лесники с помощью пилы расчищают в нем узкий тоннель, достаточный для прохода лодки. Иначе вверх другого прохода нет.

Именно такие завалы — излюбленное место обитания выдры и норки. Норка — не коренной вид этих мест. Сюда ее завезли более 30 лет назад для разведения. Сегодня ее популяция сильно увеличилась, и норка оккупировала всю реку, вытеснив с исконных мест обитания и кормежки соболя, белку, ласку и выдру. К тому же норка вылавливает рыбу, которой в верховьях Лены стало мало. Вот как может обернуться для природы вмешательство человека.

В верхнем течении Лена делится на множество мелководных рукавов и становится труднопроходимой. Мы все чаще останавливались и вручную проводили лодку через мели. К концу третьего дня пути мы добрались до места, где должны были оставить лодку и отправиться дальше пешком.

## По таежным тропам

Геннадий заранее договорился с хозяином лошадей о встрече в назначенном месте, и теперь нам оставалось ждать его появления. Он сюда должен привести коней по таежным тропам из Бирюльки. В отличие от нас, чтобы добраться сюда, лошадям необходимо потратить в два, а то и в три раза больше времени. Вот когда становится видно преимущество передвижения по реке. Ходить летом по тайге тяжело, и нам предстояло в этом еще убедиться.

В тайге лошади всегда были неоценимыми помощниками для человека. Раньше, когда не было вертолетов, для перевозки грузов все экспедиции использовали лошадей или домашних оленей, которых нанимали у аборигенов. Сегодня тунгусы, так зовется местное население, уже не держат оленей и давно не



Переправа через речку Анай.

бродят по просторам тайги. Поэтому теперь вьючный транспорт арендовать стало не так-то и просто, а без него обойтись очень трудно. Вот почему мы обрадовались появлению лошадей.

Когда мы вошли в лес, деревья сомкнулись над нашими головами, полностью заслонив окружающий мир. Тайга здесь никогда не вырубалась человеком и поэтому была практически непроходима. Со всех сторон нас окружала однородная зеленая масса, сквозь которую нельзя было разглядеть каких-либо ориентиров. Куда идти? Только теперь нам стало понятно, как легко заблудиться в тайге. Неопытный человек, сбившись с пути, начинает петлять, метаться из стороны в сторону, все дальше забираясь в глубь леса,



Когда надоели комары.





Лабаз.

постепенно теряя силы и рассудок. Именно так многие люди теряются в тайге и погибают. Найти их потом невозможно.

Геннадий с легкостью выискивал тропы животных и уверенно вел наш караван сквозь зеленый лабиринт. В тайге зве-

ри натаптывают еле заметные тропинки, которые обычно пролегают вдоль рек и ручьев. Для движения человека звериные тропы не совсем удобны, так как пролегают сквозь густые заросли и обычно завалены лежащими поперек упавшими де-



У зимовья.

ревьями. Словно в экваториальных джунглях, Геннадий приходилось пробивать нам дорогу, без усталости орудуя топором: чтобы могли пройти лошади с вьюками, нужен широкий проход.

Издавна в тайге охотники ориентируются по зарубкам, оставленным на деревьях. Так поступал и наш проводник. Иногда на некоторых участках пути Геннадий обновлял старые зарубки и делал новые, ведь нам еще предстояло возвращаться обратно.

Самыми коварными местами в тайге считаются заболоченные участки. Здесь неизвестно где человека поджидает ловушка. Всегда надо быть начеку и иметь с собой длинный шест. Мы не ожидали, что поверхность подсохшей болотистой мари, которая крепко нас держала, окажется западней для лошадей. С первых шагов лошади провалились, и мы потратили много времени, чтобы извлечь их из болота.

В тайге всегда полно дров, благодаря которым можно приготовить еду, обсушиться и обогреться. Главное перед уходом тщательно затушить костер, ведь пожар — это настоящее бедствие для тайги и ее обитателей. В здешних местах, где человек редок, главная причина лесных пожаров — это сухие грозы летом. Практически везде тайга когда-то горела, и доказательством тому были постоянно встречавшиеся на нашем пути лесные гари.

Старые гари — излюбленные места охоты на соболя. Но увидеть его в тайге без помощи собаки практически невозможно. Геннадий взял с собой собаку, и мы постоянно были в курсе событий, происходивших в лесу. Хорошая охотничья лайка среди охотников ценится на вес золота. В тайге это самый надежный помощник и друг, без которого охотник никогда не уходит в лес. Собака всегда выследит зверя и первой почует опасность. Ведь случайная или внезапная встреча с медведем мо-



Перетаскивание лодки через мель.

жет плохо закончиться даже для опытного охотника. А медведей в здешних местах полно. Мы постоянно встречали метки их когтей и зубов, оставленные на деревьях. Так медведи отмечают границы своих владений.

За день в тайге путник проходит обычно 15–20 км. Из такого расчета охотники и егеря на своих владениях строят небольшие избы — зимовья. Здесь, как правило, всегда есть печка, нары, посуда и небольшой запас еды, который хранится в лабазе. Это маленькая избушка, поставленная на высокие столбы, внутри которой хранят съестные припасы, чтобы они не достались мышам и медведям. Если продукты оставить в избе, то мыши съедят их, а вот медведь, учуяв запах еды, обязательно устроит беспорядок или разгромит зимовье. Ночевать в зимовье намного прият-



Встреча с Михалычем.



Пропиленный проход в «лomu» — завал на Лене.

нее и удобнее, тем более когда в пути застанет дождь.

Утро — самое мистическое время суток в тайге. Мы просыпались рано и вместе с проводником изучали премудрости навьючивания лошадей. С давних пор конструкция вьюков остается неизменной. Они легко крепятся к седлу и надежно защищают вещи от влаги и внешних

повреждений. Обыкновенные мешки и рюкзаки к лошадям приторочить проблематично. В пути они будут постоянно сваливаться и рваться о деревья.

Мы все глубже забирались в тайгу и не переставали удивляться новым открытиям. Оказывается, что даже в самых отдаленных и дремучих местах ког-



Путь по курумнику.

да-то побывал человек. Иногда мы встречали аккуратно прислоненные к старым деревьям шесты от чумов. Они были очень старые, но еще годные для употребления. Очевидно, здесь проходили кочевые пути тунгусов. О давности того времени можно судить по ловушкам, которые обросли стволами деревьев. Сегодня тунгусы утратили свой традиционный образ жизни и живут обособленно в деревнях, затерянных в тайге.

### Поднимаемся в горы

Постепенно мы все выше поднимались в горы. Тайга уходила на склоны, уступая место кустарнику, который заполнял все дно долины. Идти по нему было просто невыносимо. Ноги путались в корнях, а ветки, словно плети, больно хлестали по лицу. Нам казалось, что это самые неприятные места в тайге для идущего человека. Но Геннадий нас разубедил и пообещал, что впереди нас ждет еще более серьезное испытание — путь сквозь кедровый стланник. Смирившись с трудностями, мы продолжали свой путь дальше. Среди кустов мы часто находили сброшенные рога и следы лосей: кустарник — их излюбленное место кормежки.

Мы добрались почти до самых верховьев Лены. Горы стали высокими, появились скалы и обширные россыпи камней, которые здесь называют курумниками. Дальше лошадям было идти опасно. Они могли на острых камнях легко ранить или даже сломать ноги. Поэтому, дойдя до очередной избушки, где мы оставили все свои вещи, нам пришлось отпустить лошадей домой и дальше продолжить путь одним.

Курумники — излюбленное место обитания пищухи. Мелкие грызуны без страха шныряют между камней, издавая пронзительный писк. В камнях пищухи устраивают свои жилища и прячут запасы еды на зиму. Достать



Последний «взлет» — и скоро верховье.

их в каменном лабиринте проблематично даже молниеносному канюку.

Высокогорная тайга совсем не похожа на равнинную тайгу. Здесь лиственные деревья уступают место хвойным великанам — сибирской сосне, ели и лиственнице. Королева тайги — сибирская сосна, или кедр, как называют это величественное дерево в народе. В конце августа наступает время созревания кедровых шишек, время великого пира, на который стремятся попасть многие обитатели тайги.

Преодолев последний подъем, мы вышли в верховья Лены. Река текла небольшим ручьем, который можно без труда переступить в любом месте. И вскоре мы подошли к небольшому гор-

ному озеру, из которого рождалась река. Неужели мы достигли своей цели и стоим у самого начала великой сибирской реки? Мы решили взобраться на соседнюю вершину, но подняться на самую верхушку нам помешал кедровый стланик. Пробрить его колючую стену у нас не хватило сил. Однако вид, который открылся нам со склона, заворожил нас, и мы еще долго сидели и ждали, когда солнце коснется горизонта. Чтобы вдохнуть полной грудью пьянящий воздух необъятной Сибири, стоило забраться в глушь.

Мы попрощались с Геннадием. За нами он вернется, когда в эти края постучится настоящая сибирская зима. Оставаясь одни, в маленькой избушке, мы надеялись встретиться с хозяи-

ном тайги и взглянуть на его осенние проделки. Но где нам его искать и когда он появится здесь, этого знать мы не могли. Поэтому нам еще предстояло исследовать эту прекрасную долину и тщательно подготовиться к встрече. Кто знает, чем она для нас может закончиться. Встреча с медведем непредсказуема, тем более что у нас нет ружья.

### На поиски медведей

Каждое утро мы оставляли свое уютное жилище и отправлялись в тайгу на поиски медведей. Осенью они приходят в эту долину, чтобы поживиться кедровыми орехами, запасы которых устраивают на зиму в своих норах бу-



Плоды кедр — сосны сибирской.



Бурундук шелушит шишку кедр.

рундуки. В это время медведи не столь агрессивны, как весной. Сейчас в тайге вдоволь еды, и лишних приключений они для себя не ищут. Но все равно, бродя по лесу, мы испытывали некоторое чувство страха.

День за днем мы обшаривали все новые и новые уголки леса. Повсюду были видны только старые, разоренные, норы бурундуков. Их количество свидетельствовало о том, что медведи здесь хозяйничают активно, и мы все-таки должны встретиться с ними. Мы восхищались той колоссальной работой, которую проделывают медведи, чтобы отыскать запасы бурундуков. Если они чувствуют запах орехов, могучие корни и громадные валуны для них не преграда.

Мы словно в сказке бродили под кронами фантастического леса, который состоял целиком из многовековых кедров, похожих на старинные канделябры. Многим из них более 600 лет. Кедр — это единственное орехоплодное дерево сибирской тайги. Его вкусные и питательные орешки — основной корм для всей лесной фауны, а для человека объект промысла и цен-

ный продукт питания. В урожайные годы на дереве бывает до 80—100 шишек, но в обычные годы их значительно меньше. Кедровая сосна устроена так, что ее плоды обычно растут только на вершине дерева — достать их проблематично.

Природа так устроила, что семена кедр, в отличие от семян сосны, лиственницы или ели, порхать по ветру не могут. Поэтому, чтобы расселяться, кедру нужен помощник, и он у него есть — это небольшая птица кедровка, или, как ее еще называют, ореховка. Делая запасы впрок, кедровка разносит семена кедр по тайге и прячет небольшими порциями.

Эти неутомимые птицы работают в любую погоду с утра до вечера. Сначала кедровки изучают шишку, пробуют ее на зрелость, потом срывают и переносят в клюве в удобное для разделки место. Чаще всего это бывает сухое дерево или ветка. В свой зоб кедровка может поместить до 80 орехов. Очистив шишку, птицы спешат спрятать свою добычу. Каждая кедровка ежегодно делает множество своих личных «кладовых», в кото-

рых обычно хранится до 20 орешков.

Но это не значит, что все припрятанные орехи птицы найдут на своем месте целыми и невредимыми. Часть забытых семян прорастут весной, а некоторые кладовые будут разграблены бурундуками. Бурундуки, которые живут в гольцовом поясе гор, успешно пользуются услугами кедровок. Они искусно отыскивают их кладовые и опустошают начисто. Их мастерству и настойчивости остается только удивляться.

Бурундукам, живущим в лесу, не так-то просто достается добыча. Им постоянно приходится обходить свою территорию в поисках шишек, которые роняют кедровки, и самим их шелушить. К тому же многие лежащие шишки, как правило, пусты. Птицы оставляют внутри шишки только плохие орехи. Как кедровки отличают их от хороших, не вынимая из шишки, для нас так и осталась неразгаданной загадкой.

Если на земле не хватает шишек, бурундуки с легкостью взбираются на дерево и собирают орехи там. Эти полосатые

проказники настолько легки, что могут без труда достичь самых верхушек веток, где растут шишки. За один раз бурундук в свои мешки может набрать до 40 орехов, после чего спешит отнести их в нору. Обычно свои кладовые бурундуки закапывают под корнями старых кедров на глубине до метра. Бурундуки делают по несколько амбаров, где в каждом может находиться до 3 кг орехов. Вот почему медведи, невзирая на трудности земляных работ, так усердно ищут кладовые бурундуков.

Бурундуки — подвижные и шустры зверьки. Об их полосках на спине у народов Сибири есть легенда: «Когда-то бурундук поспорил с медведем, кто из них быстрее и проворнее. Медведь успел задеть бурундука только лапой, оставив на его спине следы когтей. Бурундук убежал и выиграл спор, но на его спине остались шрамы в виде полосок. Вот после этого случая медведь пытается откопать бурундука и вновь поспорит с ним».

Время пролетало незаметно. Мы уже обошли все окрестные уголки долины, нигде не встретив свежих следов медведей, и теперь стали забираться на вершины хребтов, откуда подолгу всматривались в окружающий мир. Казалось, что с высоты нам проще увидеть медведя, чем бродя по густому лесу. Но в прогалинах леса нам удалось заметить только лося, стаю волков, а вот главный хозяин не появлялся.

Иногда мы сидели на вершинах до самого захода солнца и всматривались в неподвижную долину в надежде увидеть хотя бы одного медведя. Но увы. Вокруг простиралась одна лишь бескрайняя тайга. Она, словно безбрежный океан, уходила за горизонт синими волнами. Временами нам казалось, что тайга дышала и звала нас к себе. В такие минуты наша душа наполнялась свободой, и мы, стоя у обрыва, словно птицы, парили над бескрайним зеленым миром, забывая о быстро надвигающихся сумерках.

С каждым днем мы все больше убеждались в том, что подстеречь медведя на просторах тайги — очень сложная задача. Здесь безумные просторы, и угадать, где появится медведь, невозможно. От отчаянья мы решили прибегнуть к старому способу, который применяют охотники, — устроить приваду. Мы собрали немного кедровых шишек, которые вместе с тушенкой, стуженным молоком и пищевыми отходами закопали недалеко от норы бурундука. А рядом повесили бутылку с протухшими куриными яйцами, надеясь, что весь этот ужасно пахнущий винегрет своим запахом все-таки привлечет медведя.

Дни сменяли друг друга, а медведи никак не реагировали на нашу приманку. По-видимому, осенью медведей, кроме орехов, ничего не интересует. Эту мысль подтверждал найденный нами на пути сюда свежий помет. Он целиком состоял из чешуи кедровых орехов, других примесей в нем не было.

Наступил сентябрь. Вершины гор покрылись первым снегом и холодно мерцали по вечерам, напоминая о приближении сибирской зимы. После морозных ночей лес преобразился и надел свои сказочные наряды. Лишь только кедровые остались стоять в своем прежнем одеянии. Чарующая красота тайги мимолетна. Мы проснулись в новом мире. Снег нас обрадовал. Ведь если медведь где-то и ходит, мы сразу сможем обнаружить его по следам. Наблюдение за привадой мы прекратили и начали бороздить снег.

Увы, первый день не принес результатов. Мы не встретили ни единого следа. Обычно первый снег пугает животных, и они предпочитают отсиживаться. Только спустя два дня на снегу появились редкие следы соболя и косули, а вот следов медведя не было. Быть может, медведь уже не придет.

Новый снегопад вновь обрушился на горы. Снега становилось все больше и больше, и мы

стали опасаться, сможем ли вообще выбраться отсюда. Но в надежде найти хотя бы следы мы продолжали тропить снег. Уже возвращаясь к домику, в 300 м от него наткнулись на свежие следы. Медведь здесь прошел совсем недавно. Было видно, что он методично, от дерева к дереву, прочесывал тайгу в поисках норы бурундуков. Пройдя 500 м, мы увидели только две разрытые норы бурундуков.

К сожалению, этот год оказался холодным. Большинство шишек не успели созреть и остались висеть на деревьях, поэтому кедровки спустили на землю мало шишек и бурундуки сделали незначительные запасы, а это значит, что медведям в высокогорье делать нечего. Они, наверное, остались промышлять в лесах, расположенных в нижнем ярусе гор, где лето было теплее и шишки успели созреть. Вот простое объяснение, почему нам так не везло со встречей с медведями.

Встреча в тайге с медведем — это редкая случайность. Тайга — его дом, а мы всего лишь гости. Быть может, мы слишком мало прожили здесь, чтобы понять ритм этого фантастического мира? Но очевидно одно: здесь, в истоках великой сибирской реки Лены, еще существует дикий уголок природы, который, как и тысячу лет назад, живет по своим законам, неподвластным нашим желаниям.

Геннадий пришел за нами вовремя. Мы были благодарны судьбе за то, что нам удалось побывать здесь и хотя бы на время стать частицей этого затерянного мира. Какое будущее ждет этот дивный уголок Сибири? Ведь в тех местах, где есть человек, кедровые леса находятся под угрозой уничтожения. Но пока здесь существует заповедник, мы можем быть уверены, что в следующем году вновь будет новый урожай кедровых шишек и медведи обязательно придут на исток Лены, чтобы отыскать бурундуков и посостязаться с ними в проворности. ■

# Крутые виражи Дмитрия Артемьева

Ю.И.Блох

Современникам имя Дмитрия Николаевича Артемьева (1882—1945/46) почти неизвестно. Между тем первые послереволюционные годы он заведовал научным отделом Наркомпроса, входил в коллегию НТО ВСНХ и приложил значительные усилия к задуманной большевиками кардинальной перестройке научной инфраструктуры. Можно сказать, что уже 90 лет отечественные ученые работают в той научной среде, основные черты которой сформированы именно Артемьевым с несколькими коллегами. При его непосредственном участии было создано несколько десятков научно-исследовательских институтов, многие из которых действуют до сих пор. Диапазон его деятельности простирался от подготовки проекта декрета Совнаркома о Госкомитете по охране памятников природы до устройства лекционных представлений в Уголке Дурова. Любимым же детищем Артемьева стала Московская горная академия, для организации которой он не жалел ничего и никого.

Это был сложный и противоречивый человек, жизнь которого, окрашенная разного толка легендами, бросала его из одной крайности в другую. Вот как писал А.Е.Ферсман, знакомый с ним по минералогической лаборатории В.И.Вернадского: «Здесь рядом со мной вел свой анализ Д.Н.Артемьев, представитель золотой молодежи, блестящий ис-



**Юрий Исаевич Блох**, доктор физико-математических наук, профессор. Область научных интересов — геофизика, обратные задачи, автоматизированные системы интерпретации геофизической информации, история наук о Земле.

следователь кристаллографии в школе Е.С.Федорова, потом видный работник Наркомпроса, первый ректор Горной академии в Москве, спекулянт бриллиантами и драгоценными камнями, бежавший за границу, снова кристаллограф, издавший в Берлине прекрасное руководство по кристаллографии, и, наконец, настоятель крупнейшего католического монастыря на юге Франции, а сейчас, говорят, кардинал» [1. С.122]. Насколько точна эта беглая зарисовка? Попробуем вынуть на поверхность то, что доподлинно известно о Дмитрии Николаевиче.

Родился он в Нижнем Новгороде 21 июля 1882 г. Отец, дворянин и полицейский чиновник Николай Иванович Артемьев, за несколько месяцев до рождения сына оставил должность начальника Пермской пересыльной тюрьмы. Мать, Екатерина Владимировна, в девичестве Терская, была дочерью мелкого чиновника, титулярного совет-

ника, но при этом владела собственным домом на Ошарской улице неподалеку от Кремля, где и жила их семья. Кроме сына у четы Артемьевых была дочь Евгения. В 1896 г. Артемьевы купили имение площадью около 300 га в Костромской губернии на берегу р.Унжи. В Государственном архиве Костромской области сохранился документ, в соответствии с которым приобретенное имение находилось «при усадьбе Петровке и деревнях: Михалининой, Поповой и Бобровой...» [2. Оп.2. Д.2165].

Среднее образование Артемьев получил в Нижегородском дворянском институте имени Императора Александра II. В 1901 г. ему был выдан аттестат зрелости, в котором отмечены его отличное поведение и такие же успехи в учебе [3. Оп.315. Д.34. Л.2].

Нижегородцы, как правило, поступали тогда в Казанский университет, но Артемьев устремился в Москву, где 17 июля

1901 г. подал прошение, в соответствии с которым был принят на естественно-историческое отделение физико-математического факультета Московского университета. Здесь он увлекся минералогией и стал усердно заниматься под руководством Вернадского. Учеба давалась Артемьеву легко, и в 1903 г. он отлично сдал так называемые полукурсовые испытания.

В том же году состоялось его знакомство с Александром Евгеньевичем Ферсманом, который только что перешел в Московский университет из Новороссийского, и почти тогда же довелось встретиться с выдающимся кристаллографом Евграфом Степановичем Федоровым, преподававшим в Московском сельскохозяйственном институте в Петровско-Разумовском. Эта встреча сыграла большую роль в судьбе Дмитрия Николаевича. В течение полутора десятков лет он учился у Федорова и работал вместе с ним.

Осенью 1905 г. ученый совет Петербургского горного института предложил Федорову директорскую должность. После раздумий и колебаний он решил занять этот пост, и семья переехала в Петербург. Туда же по завершении в декабре 1906 г. учебы в Московском университете устремился и Артемьев. Благодаря опубликованным в 1902 г. замечательным воспоминаниям жены Федорова Людмилы Васильевны мы знаем, что по этому поводу думал Дмитрий Николаевич. В письме из Москвы он писал Федоровым: «Вы не можете себе представить, как я доволен, что ухожу из Московского университета, так как теперь там у нас такая безалаберщина и запустение, что прямо неприятно даже прийти в кабинет, а не только заниматься. Кроме полного отсутствия руководителей всюду чувствуется страшный застой и рутина, между тем как у Вас видишь кипучую деятельность и расцвет научной деятельности...» [4. С.239]. Вообще записи Федоровой сохрани-

ли много живых деталей о довольно длительном периоде жизни Артемьева.

Летом 1907 г. Дмитрий Николаевич перебрался в Петербург и пригласил пожить в столице свою сестру Евгению. Это было время, когда Евграф Степанович завершал многолетнюю работу по созданию «кристаллохимического анализа», т.е. метода распознавания вещества по форме его кристаллов. Дмитрию Николаевичу довелось принять в этом самое серьезное участие. Кроме того, он занялся и самостоятельной разработкой нового метода анализа, который был назван методом кристаллизации шаров. Поначалу Артемьев трудился в Горном институте без содержания, но осенью 1908 г. получил место штатного ассистента по кафедре минералогии, а в декабре 1909 г. ему в соответствии с должностью присвоили чин коллежского асессора — теперь следовало обращаться к нему «Ваше высокоблагородие».

Артемьев в тот период работал весьма плодотворно: с 1907 по 1910 г. опубликовал 15 статей. Две из них в 1910 г. были переведены на немецкий язык и вышли в препринтах, а в 1911-м опубликованы в ведущем международном журнале «Zeitschrift für Krystallographie und Mineralogie». Одна из статей, «Определение плотностей сеток кристаллических граней без помощи построения», написанная в соавторстве с В.И.Соколовым, содержала, по общему признанию, новые идеи и дополняла геометрические подходы Федорова оригинальными аналитическими результатами, реализованными в виде удобных таблиц. Другая статья излагала метод кристаллизации шаров. Стоит отметить, что кристаллографы по сию пору продолжают ссылаться на эти труды.

Осенью 1910 г. Артемьев принял решение жениться. Его избранницей стала Елена Витовна Тихомирова, вдова дворянина Владимира Тихомирова с тремя детьми от 8 до 14 лет.



Дмитрий Николаевич Артемьев в 1901 г.

Л.В.Федорова описала это событие как брак по расчету, причем неудачный. В 1914 г. его жена скончалась в Ницце.

В 1911 г. Евграф Степанович Федоров представил в Академию наук для издания на немецком языке монографию по кристаллохимическому анализу «Das Krystalreich» («Царство кристаллов»). На титульном листе Евграф Степанович особо отметил, что она создана при участии («unter Mitwirkung») Д.Н.Артемьева, Т.В.Баркера, Б.П.Орёлкина и В.И.Соколова. По существу это был первый систематический определитель вещества по форме его кристаллов. Однако публикация из-за войны и революции задержалась и состоялась лишь в 1920 г., уже после смерти Федорова.

Вернемся, однако, к началу 1910-х годов. Плодотворная научная и педагогическая деятельность Артемьева была отмечена руководством Горного института: осенью 1912 г. его представили к чину надворного советника, а в 1914 г. он был награжден орденом Святого Станислава III степени. По должности,



тем не менее, он оставался ассистентом. Кроме того, Артемьев преподавал кристаллографию на Высших женских естественно-научных курсах, основанных баронессой М.А.Лохвицкой-Скалон (более известной как выдающаяся поэтесса серебряного века Мирра Лохвицкая), а также минералогии и кристаллографию на Высших женских курсах при Биологической лаборатории П.Ф.Лесгафта.

В 1914 г. Артемьев наконец завершил свою многолетнюю работу над диссертацией «Метод кристаллизации шаров и его применение при изучении формы и строения кристаллического вещества». Защита состоялась в Петроградском университете, и 19 января 1915 г. Дмитрий Николаевич был утвержден магистром минералогии и геогнозии. В том же году диссертация была опубликована и удостоена высшей награды Санкт-Петербургского минералогического общества — Золотой медали им.А.И.Антипова.

Вскоре после защиты, в феврале 1915 г., Дмитрий Николаевич был избран приват-доцентом Петроградского университета, где некоторое время читал лекции, а с марта начал работать как адъюнкт Горного института. Но неожиданно попросил разрешения на переход в Варшавский политехнический институт, который в связи с военными действиями был тогда эвакуирован в Москву [5].

Очередной жизненный вираж Артемьева был вызван, скорее всего, тем, что в это время в кристаллографии наступила новая эпоха, связанная с появлением рентгеноструктурного анализа. Судя по всему, Артемьев решил прекратить научные исследования вообще, сосредоточившись на педагогической и организационной деятельности.

Избранный экстраординарным профессором Варшавского политехнического института, он представил для утверждения на должность лаборанта по кафедре минералогии и кристаллогра-

фии кандидатуру выпускника Московского университета Николая Михайловича Федоровского, сыгравшего в его дальнейшей жизни значительную роль.

Федоровский был членом партии большевиков с 1904 г., а в апреле 1906 г. его направили в Гельсингфорс и крепость Свеаборг для участия в подготовке восстания. В июне 1906 г. он вошел в состав военно-боевого центра [6], избрав себе партийную кличку Степан Финляндский. При его непосредственном участии был разработан план совместного выступления сухопутных войск и флота на Петербург, однако восстание началось преждевременно из-за прекращения выдачи личному составу «винной порции», благодаря чему вошло в историю как «водочный мятеж». В итоге восстание жестоко подавили: за участие в нем военно-полевому и военно-окружному суду было предано 970 человек, из них 28 были расстреляны, 127 сосланы на каторгу, 743 приговорены к тюремному заключению, дисциплинарным ротам и т.п. [7]. Федоровскому удалось скрыться. В 1907 г. он вошел в Московскую военную организацию РСДРП. Это не помешало ему в 1908 г. сдать экстерном экзамены за 8 классов во 2-й Саратовской гимназии и поступить в Московский университет, который он закончил в 1914 г.

В 1916 г. Варшавский политехнический институт переехал в Нижний Новгород, что Артемьева совсем не устраивало. Тогда и возникла идея перевода горного отделения института в Москву в качестве Горной академии. Вот как описывал это Федоровский в 1924 г. в журнале «Красный горняк»: «Самая мысль о создании в Москве высшего горного учебного заведения зародилась еще в 1916 году у меня и проф. Артемьева в бытность нашу в Нижнем Новгороде. В это время быв[ший] Варшавский Политехникум с Горным Отделением был переведен в Нижний Новгород. Нам казалось совершенно

нелепым существование в Нижнем Новгороде Горного Отделения в то время, когда в таком большом умственном центре, как Москва... не было высшей горной школы. Мы подняли большую кампанию за перевод Горного Отделения в Москву...» [8. С.19]. Поднятая кампания с треском провалилась.

После перехода власти к Временному правительству Артемьев решил, что вопрос о переводе в Москву следует поставить вновь. Но и на этот раз план не осуществился.

А между тем Федоровского избрали главой нового окружного комитета РСДРП(б), вскоре он стал председателем губернского комитета и кандидатом в Учредительное собрание. В марте 1918 г. он принял участие в VII съезде партии, где особо активно поддержал линию В.И.Ленина, в том числе по поводу заключения Брестского мира, и смог обрести его особое доверие. «В начале 1918 г., — писал Федоровский в упомянутом журнале, — я поехал в Москву по партийным делам, вспомнил здесь наши попытки основать в Москве горную школу, снесся с Горным Отделением Политехникума, и было решено совершенно самостоятельно организовать здесь высшее учебное заведение по типу Академии» [8. С.19]. В итоге с помощью московских властей это и было сделано. С деталями истории расчленения Нижегородского политехникума под руководством Федоровского и Артемьева можно познакомиться в упомянутой книге В.Б.Рыбьева и Т.Ю.Полянской.

Очередной вираж привел к тому, что Артемьев вернулся в Москву и с 8 мая 1918 г. приступил к работе в Народном комиссариате просвещения (Наркомпросе РСФСР) [9. Оп.19. Д.183. Л.166]. 29 июня 1918 г. на заседании коллегии Наркомпроса было принято решение «Об утверждении членами научного отдела тт. Ленгника и Артемьева» [9. Оп.1. Д.40. Л.15]. Так Артемьев в компании с профес-

сиональным революционером, большевиком Фридрихом Вильгельмовичем Ленгником вошел в круг руководителей российской науки. Вскоре Совнарком на своем заседании постановил назначить его членом коллегии Наркомпроса [10].

К этому времени, наверное, относится и вступление Артемьева в РКП(б), что у многих коллег вызвало недоумение. Так, Вернадский в своих дневниках вспоминал, что Дмитрий Николаевич «не будучи ни коммунистом, ни социалистом — вступил в партию» [11. С.23]. Видимо, также в этот период он был избран профессором Московского университета. В дополнение ко всему перечисленному Артемьев и Федоровский стали членами коллегии организованного тогда НТО ВСНХ. В качестве сотрудника Наркомпроса и НТО Артемьеву пришлось заниматься множеством дел, но основные усилия он прикладывал к созданию Горной академии. В итоге 4 сентября 1918 г. был подписан декрет Совета народных комиссаров об учреждении Московской горной академии (МГА). Артемьев стал ее ректором-учредителем. Торжественное открытие состоялось 12 января 1919 г. Вскоре же на коллегии Наркомпроса его утвердили заведующим научным отделом [9. Оп.1. Д.180. Л.15].

Ученые в своем большинстве не приняли новую власть, поэтому большевики стремились максимально отгородить их от участия в высшем образовании. С этой целью было создано множество специализированных (отраслевых) НИИ, лабораторий и других организаций, не связанных с вузами и университетами, а также новые высшие учебные заведения, не имеющие исторически сложившихся научных школ. Всего за 1918—1919 гг. было образовано 33 крупных по тому времени института. Некоторые из них вскоре распались, но другие оказались вполне жизнеспособными. Реформаторы так увлеклись перестройкой, что под горячую ру-



На Всероссийском совещании по реформе высшей школы. 1918 г. Слева, над склонившейся фигурой, предположительно Д.Н.Артемьев.

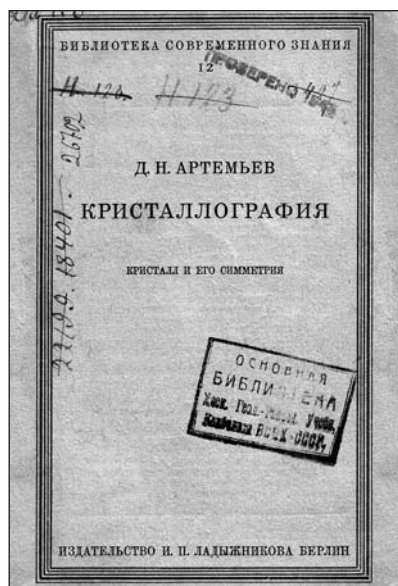
Из фонда РГАКФД.Красногорск

ку чуть было не ликвидировали Академию наук. Инспирировал эту попытку, несомненно, заместитель наркома М.Н.Покровский, которому свободолюбие академиков не давало покоя, однако легенды приписывают ее именно Артемьеву и его заместителю по научному отделу Наркомпроса — астроному В.Т.Тер-Оганесову. Губительной реорганизации удалось избежать только благодаря непосредственному обращению членов Академии к Ленину, который категорически воспротивился этим планам. По воспоминаниям А.В.Луначарского, А.И.Рыков передал ему следующую фразу Ленина: «Не надо давать некоторым коммунистам-фанатикам съесть Академию» [12. С.62].

Зимой 1920/1921 гг. административный статус Артемьева пошатнулся. Это был период острейшего системного кризиса в стране и внутрипартийной борьбы среди большевиков в форме так называемой дискуссии о профсоюзах. Борьбу с кризисом начали с реорганизации науки и образования, и в итоге коренной перестройки Наркомпроса Артемьев потерял

свое руководящее положение. 25 января 1921 г. он, как оказалось, в последний раз выступил на коллегии с докладом по проекту декрета о Госкомитете по охране памятников природы [9. Оп.1. Д.634. Л.5], но в новой структуре Наркомпроса ему досталось место лишь среди 16 членов научно-технической подсекции Государственного ученого совета (ГУС) [9. Оп.36. Д.80. Л.5]. Кардинальное понижение своего статуса Дмитрий Николаевич ощутил моментально и понял, что теперь ему будет, помимо всего прочего, весьма тяжело добывать средства для Московской горной академии. Уже 15 февраля 1921 г. последовало заявление ректора Артемьева о замещении его как распорядителя кредитов членом президиума МГА И.М.Губкиным или Н.М.Ишоевым. Представители МГА, собравшиеся для выборов президиума Академии, согласились с предложением [13. Л.97].

Именно к этому времени относящиеся мифы относят решение Артемьева об эмиграции. В дневниках Вернадского к 24 марта 1921 г. относится следующая запись: «Артемьев вернулся из



Руководство по кристаллографии (один из четырех томов), изданное в Берлине в 1923 г.

Смоленска, не доехав до Минска — заград[ительные] отряды — а он, по-видимому, думал уехать за границу и вез туда “благоприобретенное”. Всюду мелочная гадость...” [11. С.23]. Под «благоприобретенным» здесь, скорее всего, подразумевается широко распространенный слух, будто Дмитрий Николаевич, пользуясь своим положением, скупал драгоценные камни и, собрав «шкатулку с драгоценностями», с ней эмигрировал. В версии академика В.А.Обручева шкатулка выросла до размеров чемодана — он записал в своих воспоминаниях: «Артемьев скоро уехал за границу и, как говорили злые языки, увез чемодан с драгоценными камнями, которые в годы Гражданской войны скупал по дешевке. Он не вернулся назад и стал эмигрантом» [14. С.21]. Однако в марте Дмитрий Николаевич, скорее всего, и не собирался эмигрировать. Сохранились документы, по которым он в марте 1921 г. командировался в Смоленск и Минск, а перемещаться тогда он мог только в соответствии с полученным мандатом.

Командировка, из которой он не вернулся, состоялась поз-

же. 4 июля 1921 г. на заседании Комиссии по заграничным командировкам при Наркомпросе было решено «командировать профессора Артемьева Д.Н. в Германию и Швецию сроком на 2 месяца с отпуском соответствующей валюты» [13. Л.166]. 22 ноября Губкин подписал сохранившиеся в личном деле Артемьева сертификаты на английском, французском и немецком языках, в которых подтверждались его полномочия, а 26 ноября Артемьев написал приказ: «Ввиду моего отъезда за границу по поручению Наркомпроса и Наркомвнешторга исполнение обязанностей ректора возлагается на члена Правления М.Г.А. проф. И.М.Губкина. Ректор М.Г.А. Д.Артемьев» [13. Л.135]. На этом фоне весьма загадочно выглядит подшитая в личное дело выписка из протокола заседания правления МГА от 28 ноября 1921 г., где член правления С.С.Смирнов заявил «об отъезде ректора Академии проф. Д.Н.Артемьева в командировку за границу без извещения об этом Правления МГА и, в частности, своего заместителя, и без сдачи последнему дел по Академии» [13. Л.136]. Это нелепое заявление, тем не менее, породило свой до сих пор бытующий миф.

Поначалу Артемьев направился в Швецию. Уехал ли он в эту командировку с уже твердо принятым решением об эмиграции? По-видимому, нет. Иначе непонятно, почему он пытался усердно исполнять свое командировочное задание. Известно, что 21 декабря он выслал из Швеции на имя тогдашнего заместителя председателя коллегии НТО ВСНХ Ю.Н.Флаксермана письмо с соображениями о необходимости открыть отделение Бюро иностранной науки и техники (БИНТ) в Стокгольме, аналогичного Берлинскому, где в то время успешно работал Федоровский [15. Оп.7. Д.1132. Л.138]. Эти соображения разбились на коллегии НТО 14 февраля 1922 г., и было решено: «признать организацию отделе-

ния БИНТа в Стокгольме в данный момент ввиду валютных соображений несвоевременной и считать необходимым иметь в Стокгольме лишь одного уполномоченного БИНТа, на какую должность согласно состоявшегося соглашения между М.Я.Лапиновым-Скобло и Полномочным представителем РС.Ф.С.Р. в Швеции тов. Керженцевым назначить инж. А.О.Логина» [15. Оп.7. Д.1131. Л.15]. В данном протоколе Артемьев еще числится членом коллегии НТО, но спустя два дня, 16 февраля, президиум ВСНХ утвердил ее новый состав — уже без него.

18 февраля 1922 г. полномочный представитель РСФСР в Стокгольме П.М.Керженцев отправил телеграмму с запросом о выдаче Артемьеву германской визы. Этот вопрос почему-то рассматривался почти месяц, и только в марте Академический центр Наркомпроса обратился в отдел дипломатических курьеров Народного комиссариата по иностранным делам со следующей просьбой: «Академический центр Наркомпроса просит сообщить по телеграфу находящемуся в Стокгольме тов. Керженцеву в ответ на его телеграмму от 18-го февраля с/г, что срок заграничной командировки профессора Артемьева уже истек, почему Наркомпрос не находит возможным настаивать перед Германским Посольством о выдаче профессору Артемьеву германской визы» [13. Л.168]. Подписали этот документ заместитель наркома просвещения М.Н.Покровский и заведующий Главнаукой И.И.Гливенко.

Возвращения Артемьева ждали до июля. Его матери, которая жила вместе с ним в квартире, находящейся в здании МГА, все это время выдавали пайки, но потом ждать перестали. Последний документ в его личном деле, направленный в отдел социального обеспечения, — это решение о выдаче Е.В.Артемьевой удостоверения в том, что она действительно мать профессора Артемьева. Екатерину

Владимировну выселили из квартиры, которую занял Обручев, и о ее дальнейшей жизни достоверных сведений нет.

Сам же Дмитрий Николаевич начинал новый, зарубежный, этап жизни, о котором мало что известно. Даже об истинных причинах невозвращения остается только гадать. Можно предположить, что это связано с повсеместной в стране так называемой генеральной чисткой, приведшей почти четверть коммунистов к исключению из партии и последующим репрессиям. Сыну начальника тюрьмы, дворянину, землевладельцу и надворному советнику Дмитрию Николаевичу Артемьеву было чего опасаться, ведь основные вопросы тогдашних комиссий по чистке были связаны именно с социальным происхождением. Стоит отметить, что двое из четырех членов первоначальной коллегии НТО ВСНХ — Н.П.Горбунов и Н.М.Федоровский — в 30-х годах были репрессированы, а А.А.Эйхенвальд, как и Д.Н.Артемьев, эмигрировал из России.

Где Артемьев жил первое время после эмиграции — неизвестно. Бытует предположение, что местом его жительства была Чехословакия, но и это может оказаться мифом. Достоверно известно лишь, что тогда он самым активным образом сотрудничал с двумя берлинскими русскоязычными издательствами.

Первое из них — это Издательство И.П.Ладыжникова. В 1923 г. в серии «Библиотека современного знания» Артемьевым был опубликован четырехтомник «Кристаллография», который Ферсман, как упоминалось, считал «прекрасным руководством», а через год — сборник математических таблиц. Во всех книгах он объявляет себя профессором Московского государственного университета и никак не упоминает МГА.

Второе зарубежное издательство, с которым сотрудничал Артемьев, — «Наука и жизнь». Отделения его находились в Берлине и Риге. Оно в течение

К исл 1195  $\frac{24}{1}$  20. Ротин

178

РЕГИСТРАЦИОННАЯ КАРТОЧКА

1. Фамилия, имя, отчество *Артемьев Дмитрий Николаевич*
2. Возраст *38*
3. Место призыва / звание / *Профессор*
4. Партийность *Коммунист*
5. Какой иностранный язык знает/говорит, пишет, владеет литературно и пр. *Французский*
6. Где, когда и на каких должностях приходилось вести работу на иностранных языках и сколько времени *научная работа*
7. Был ли за границей, работал ли там и в утвердительном случае, когда вернулся или по какой причине приехал в Москву *Был, работал*
8. Какую должность занимает в учреждении принимает ли познания иностранных языков по должности и степень необходимости для учреждения *Зав. Научн. Отделом*
9. Какую и где должность занимал до войны 1918 г. *Профессор Моск. Унив. и Сорбонны*
10. Получаемое к моменту регистрации содержание / денежное и натурой / *4800р и научный паек*
- II. Точный адрес / местожительство / регистрируемого *Ф. Кашуковский 14*

*И.П.Ладыжников*  
Исполнительный делопроизводитель *Н. Гиндлин*  
*А. Фриш*

Регистрационная карточка Д.Н.Артемьева, заведующего научным отделом Наркомпроса (ГАРФ. Ф.2306. Оп.19. Д.185. Л.178).

ряда лет публиковало серию переводных книг «карманного» формата под общим названием «Русское издание «Библиотеки Гёшен»». Серия была названа в честь легендарного лейпцигского издателя и книгопродавца Г.И.Гёшена (1752—1827), и Артемьев участвовал в подготовке и редактировании для нее переводов нескольких книг. Среди них надо назвать вышедшую в 1923 г. «Кристаллографию» В.Брунса и двухтомное издание 1924 г. известнейшей книги О.Т.Бюрклена «Сборник математических формул и теорем».

Самым же любопытным представляется шеститомное издание книги Г.Егера «Теоретическая физика» (1923). В первых двух томах Артемьев участия не принимал, но в последующих его роль нарастала, и он сопровождал книги собственными дополнениями (для шестого тома написал в качестве приложения совершенно неожиданную для него 30-страничную статью «Теория относительности»). В то время было не много ученых, способных изложить доступно для широкого круга читателей учение Эйнштейна, однако Ар-



Участники Первого съезда русского католического духовенства византийско-славянского обряда в Риме. Холл Руссикума, 1930 г. Сидят в первом ряду: о.Александр Дейбнер, протоиерей Александр Сипягин, архимандрит Александр Евреинов, епископ Петр Бучис, протоиерей Сергей Веригин, о.Сергий Грум-Гржимайло, о.Александр Волконский. Во втором ряду: о.Дмитрий Кузьмин-Караваев, о.Лев Жеденов, о.Дмитрий Артемьев, о.Георгий Цебриков, о.Владимир Длусский, о.Николай Братко. В третьем ряду стоят семинаристы: Фома Подзява, Мартын Зданюкевич, Агагян, Кузьма Найлович.

Фото из собрания Славянской библиотеки в Лионе

темьев сделал это, причем с определенным изяществом. Итог издательской деятельности в 1923—1924 гг. впечатляет и характеризует его как чрезвычайно трудолюбивого ученого весьма высокого уровня. Стал бы он столь напряженно трудиться, имея при себе пресловутый «чемодан с драгоценными камнями»? Судить читателю.

В 1924 г. Дмитрий Николаевич осуществил очередной крутой вираж и, занявшись, подобно другим «мятущимся душам», богоискательством, перешел, или, как принято говорить, конвертировался, в католичество, решив стать священником униатской церкви. Его учеба продолжалась пять лет, и в 1929 г. он был рукоположен. В журнале «Китеж. Русский католический вестник», выходившем в Варшаве под редакцией священников Диодора Колпинского и Антония Около-Кулака, появилась следующая заметка: «О[тец] Д.Артемьев. Русское католическое духовенство получило нового члена и собрата в лице о. Дмитрия Артемьева... автора ряда блестящих трудов по

кристаллографии, известных и за границей... Ко Вселенской Церкви Д. Артемьев присоединился в 1924 году, богословие изучал в Инсбруке и в Вене. Русское “Бог помочь” новопоставленному пастырю!» [16. С.64].

Первое время после рукоположения Артемьев служил священником в Вене. Интересное свидетельство его работы нашла М.Ю.Сорокина. Это письмо, которое церковный староста князь Николай Сергеевич Трубецкой написал 28 июня 1930 г. из Вены сыну Вернадского — Георгию Владимировичу. В нем, в частности, сообщается: «Из католических источников я узнал, что он [Артемьев] имеет задание вести униатскую пропаганду среди русских эмигрантов. Свою задачу он осуществляет как-то мало-симпатично. Старается использовать распри русской колонии, путем сплетней и науськиваний восстанавливает прихожан против настоятеля, углубляет раскол между антониевцами и евлогиянами и т.д. По крайней мере, у меня создалось такое впечатление по рассказам людей, с ним

общающихся. Я лично совсем его не знаю, раз только с ним говорил, причем он мне очень не понравился. Так как Вы, вероятно, его знаете, то я очень прошу Вас сообщить мне, что это за человек, дабы я знал, как себя с ним держать» [17. С.674—678]. Ответ Г.В.Вернадского неизвестен.

Еще одно ценное свидетельство о деятельности Артемьева в Вене опубликовано в журнале «Ариаварта». Это письмо, посланное 12 октября 1930 г. из Вены Марией Александровной Франкфуртер Валентину Федоровичу Булгакову, бывшему секретарю Л.Н.Толстого, жившему тогда в Праге, а в конце жизни около 20 лет возглавлявшему музей в Ясной Поляне. В нем среди прочего написано: «...Тут я знаю профессора, д-ра Дмитрия Николаевича Артемьева... его призвание служить священником в греческо-восточной церкви. Он поэтому, покинув свою веру, перешел в католичество, сделался униатом... Простите за совет, но с профессором Артемьевым я не советую Вам, попросту говоря, связываться, “овчинка выдела не стоит”, он теперь прикрыл все свои немощи сутаной, и чуть что ему чудится, он сейчас же по-своему истолковывает...» [18. С.200—202].

Священник и историк С.В.Голованов из Омска, детально исследовавший жизнь русских католиков за рубежом, в своей фундаментальной монографии «История распространения католичества среди русской эмиграции в 1917—1991 гг.», выложенной в Интернете\*, сообщает, что вскоре Артемьева в Вене сменил Павел Гречишкин.

Сам же Дмитрий Николаевич перебрался в Бельгию. Летом 1934 г. он был назначен ректором (руководителем) русско-католической миссии в Брюсселе. Возглавляемая им миссия была создана, по сведениям исследователя русской эмиграции в Бельгии Вима Кудениса, при поддержке каноника Поля Халф-

\* <http://vselenstvo.narod.ru>

лантса и называлась Католической миссией для русских в Бельгии (Mission Catholique pour les Russes en Belgique) [19. P.509—525]. Миссия функционировала как минимум до 1939 г., но ее судьба в годы войны автору, к сожалению, неизвестна. Голованову удалось найти в Славянской библиотеке в Лионе карточку на Д.Н.Артемяева, которую составил, как и на всех русских зарубежных католических священников, протоиерей Виктор Рихтер. В ней записано, что Артемяев умер зимой 1945 или 1946 г. в Бельгии. Подобная неопределенность выглядит весьма показательной: видимо, к концу жизни у Артемяева не осталось ни друзей, ни близких знакомых. Оставшиеся бесхозными после

смерти автора книги из его личной библиотеки попали в бенедиктинский монастырь Шевтонь — так там оказались столь нехарактерные для аббатства труды — его «Кристаллография» и перевод учебника Бюрклена. Их каталогизировали 14 января 1946 г., что дополнительно указывает на время смерти Артемяева — скорее всего, в период рождественских праздников 1945/1946 гг. Место его захоронения также пока неизвестно. Вот так сложилась жизнь этого незаурядного ученого и неоднозначно воспринимаемого человека.

В заключение необходимо поблагодарить тех энтузиастов, которые смогли в последние годы по крупицам собрать инфор-

мацию об Артемяеве. Это В.Б.Рыбьев, Т.Ю.Полянская и Н.Ю.Стоюхина из Нижнего Новгорода, петербуржец Е.Б.Трейвус, С.В.Голованов из Омска, москвичи З.А.Бессуднова, М.Ю.Сорокина, В.И.Скопцова, О.А.Иванов, Б.Б.Лебедев и В.П.Волков, уфимцы Д.Л.Рахманкулов, А.Х.Аглиуллин и Р.М.Мазитов, бельгийский историк В.Куденис.

Конечно, в рамках статьи невозможно рассказать обо всех деталях этой бурной жизни. Для тех же, кого заинтересовала «мятущаяся душа», ниже приведены в хронологической последовательности основные публикации, содержащие дополнительные сведения о деятельности Артемяева и о мифах, с ним связанных. ■

**Трейвус Е.Б.** Кристаллограф Дмитрий Николаевич Артемяев // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2004. Сер.7. Вып.1. С.96—100.

**Рахманкулов Д.Л., Бессуднова З.А., Аглиуллин А.Х., Мазитов Р.М.** Д.Н.Артемяев — видный ученый, организатор науки и высшего горного образования в России // История науки и техники. Уфа. 2006. №5. С.58—72.

**Трейвус Е.Б.** Очерки по истории кристаллографии. СПб., 2007.

**Блох Ю.И.** Исторические корни и учредители Московской горной академии // Геофизический вестник. 2008. №8. С.8—14.

**Иванов О.А.** Первый ректор Московской горной академии // Известия вузов. Горный журнал. 2009. №1. С.95—106.

**Генис В.Л.** Неверные слуги режима: первые советские невозвращенцы (1920—1933). Опыт документального исследования. В 2-х кн. Кн.1: «Бежал и перешел в лагерь буржуазии...» (1920—1929). М., 2009.

## Литература

1. *Ферсман А.Е.* Под Москвой (1903—1912) // Бюллетень МОИП. 1946. Отдел геологии. Т.21. №1. 1946.
2. Государственный архив Костромской области (ГАКО). Ф.340.
3. Центральный исторический архив Москвы (ЦИАМ). Ф.418.
4. *Федорова Л.В.* Наши будни, радости и горести: Воспоминания // Научное наследие. Т.20. М., 1992.
5. *Рыбьев В.Б., Полянская Т.Ю.* Бывший Варшавский, ныне Нижегородский политехнический институт. Нижний Новгород, 2007.
6. *Парамонов И.В., Коробочкин Н.П.* Николай Михайлович Федоровский (1886—1956). М., 1979.
7. Военные восстания в Балтике в 1905—1906 гг. М., 1933.
8. *Федоровский Н.М.* К истории Московской горной академии // Красный горняк. 1924. №4.
9. Государственный архив Российской Федерации (ГАРФ). Ф.2306.
10. ГАРФ. Ф.Р-130. Оп.2. Д.65. Л.4.
11. *Вернадский В.И.* Дневники: Март 1921 — август 1925. М., 1999.
12. Ленин и Академия наук: Сборник документов. М., 1969.
13. Архив Московского государственного горного университета (МГГУ). Дело Д.Н.Артемяева.
14. *Обручев В.А.* Воспоминания о втором московском периоде (1921—1929 гг.) // Очерки по истории геологических знаний. М., 1963. Вып.12.
15. Российский государственный архив экономики (РГАЭ). Ф.3429.
16. Китеж // Русский католический вестник. 1929. №4—8.
17. «Там так легко дышится...»: Из американского архива Георгия Вернадского / Публ. и прим. М.Ю.Сорокиной // Диаспора. Вып.6. М.; СПб., 2004.
18. Двадцать писем Марии Франкфуртер к Валентину Булгакову // Ариаварта. 1999. №3.
19. Coudenis Wim. A Good Cause? Russian Students at the Catholic University of Leuven, 1921—1940 // For East is East. Liber Amicorum Wojciech Skalmowski. Leuven; Paris, 2003.

# ПРИРОДА

популярный  
естественно-научный журнал

Подъ редакціей

проф. Ж. К. Кольцова и проф. Л. А. Тарасевича.

Иностраннѣмъ научнѣмъ журналѣмъ предоставляется право перевода оригинальныхъ статей и воспроизведеніе рисунковъ при условіи точной ссылки на источникъ.

Русскимъ изданіямъ перепечатка статей и воспроизведеніе рисунковъ, помещаемыхъ въ журналѣ „Природа“, могутъ быть разрѣшены лишь по особому соглашенію.

ЖККТО

ЛСКРС

1914

## Пепельный свет Луны

Г.А.Тихов

**Объяснение пепельного света.** — В ясные вечера ранней весны, когда над западной частью горизонта видна молодая Луна в виде узкого серпа, не трудно заметить и остальную часть Луны, освещенную гораздо слабее, чем серп. Этот слабый свет и носит наименование пепельного света Луны. Пепельный свет хорошо виден также осенью, на востоке.

Причина этого явления хорошо известна со времен Леонардо да Винчи и Местлина, учителя Кеплера, впервые давших верное объяснение пепельному свету. Объяснение Местлина опубликовано в 1604 г. в сочинении Кеплера «*Astronomiae pars optica*», объяснение же Леонардо да Винчи, данное на сто лет раньше, найдено в его рукописях.

Представим себе момент, когда Луна проходит между Землей и Солнцем. Если центры всех трех светил лежат близко от одной прямой линии, то для наблюдателя с Земли произойдет полное или частное солнечное затмение. Если же Луна удалена более значительно от прямой Земля—Солнце, то она не будет видна на диске Солнца. Момент прохождения Луны в ближайшем расстоянии от прямой Земля—Солнце носит название новолуния. В этот момент к Земле обращена темная, не освещенная Солнцем сторона Луны, и мы ее не видим вовсе. Но что увидели бы мы, глядя

в этот момент с Луны на Землю? Обращенная к Луне сторона Земли обращена в то же время и к Солнцу, а потому с Луны мы увидели бы Землю в виде полного освещенного диска, так сказать, «полноземелие». Этот свет «полной» Земли должен освещать Луну весьма значительно, гораздо сильнее, чем то освещение, которое посылает на Землю полная Луна, так как земной диск, видимый с Луны, имеет поверхность приблизительно в 13 раз большую, чем поверхность Луны, видимая с Земли. За несколько дней до новолуния или через несколько дней после него, когда Луна удалена на некоторое расстояние от прямой Земля—Солнце, мы видим небольшую часть освещенной Солнцем ее поверхности в виде узкого серпа. В это самое время Земля с Луны кажется несколько «ущербленной», но все еще весьма яркой. Земля освещает Луну, и мы видим пепельный свет рядом с серпом, освещенным самим Солнцем.

Это и есть верное объяснение пепельного света. Как оно ни просто, людям понадобилось несколько тысячелетий занятия астрономией, чтобы найти его.

До Леонардо да Винчи и Местлина одни объясняли пепельный свет фосфоресценцией Луны, другие (напр., философ древности Посидоний) — тем, что вещество Луны прозрачно. Знаменитый

астроном XVI века Тихо Браге объяснял пепельный свет Луны освещением ее поверхности планетой Венерой.

**Интерес изучения пепельного света.** — Пепельный свет дает прекрасный способ сравнить яркость Земли, освещенной Солнцем, с яркостью самого Солнца. В самом деле, яркий серп и пепельный свет Луны представляют собою части одного и того же тела, освещенные соответственно Солнцем и Землею. Поэтому, измерив отношение яркости серпа и пепельного света, можно получить отношение яркости Солнца и Земли. Мы как бы получаем возможность взглянуть на нашу Землю с Луны.

Впервые инструментальные сравнения яркости пепельного света и серпа Луны были произведены в 1850 г. французскими астрономами Арого и Ложие.

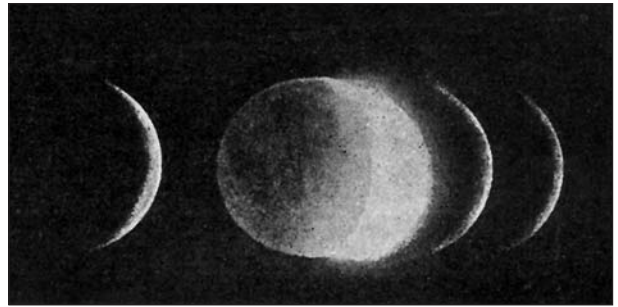
Прошло целых 60 лет без новых исследований пепельного света, и только в последние 2 года появились работы, посвященные этому вопросу.

Американский астроном Вери<sup>1</sup> произвел в 1911 и 1912 гг. целый ряд сравнений яркости пепельного света с яркостью серпа. Из этих сравнений, а также из измерений Арого и Ложие Бери пришел к очень интересному и важному выводу относительно отражения солнечного света Землею. Оказалось, что Земля отражает свет в меньшей степени, чем планета Венера, которая превосходит в этом отношении все остальные планеты.

Известно, что на Венере никогда не видно каких-либо резких и определенных подробностей. Видимые на ней пятна всегда очень слабы и неопределенны. Из этого, а также из сильной отражательной способности Венеры заключили, что она всегда покрыта густыми облаками, закрывающими от нас самую ее поверхность.

Исследования Вери приводят к мысли, что Земля наша, рассматриваемая из пространства, весьма схожа с Венерой. Земля также весьма ревниво скрывает от посторонних взоров свою поверхность, закутываясь атмосферой и облаками.

**Цвет пепельного света.** — Несколько лет тому назад мне пришла в голову мысль исследовать при помощи фотографии цвет пепельного света, чтобы таким образом составить понятие о том, какого цвета кажется из пространства наша Земля. Для решения этой задачи я начал производить снимки пепельного света и серпа через разные светофильтры: красный, желтый, зеленый и фиолетовый. На каждой пластинке фотографировался с длинной выдержкой пепельный свет, а рядом — несколько раз (с короткими выдержками разной продолжительности) серп; при этом выдержки для серпа были, на основании предварительных опытов, таковы, чтобы на каждой пластинке получались среди других и такие изображения серпа, яр-



Одна из полученных в Пулковке фотографий пепельного света и серпа Луны.

кость которых равна по возможности яркости пепельного света. Такая серия пластинок позволила определить яркость пепельного света относительно серпа в разных цветах. Таким образом, явилась возможность сравнить цвет Земли с цветом Солнца, так как, повторяем, пепельный свет — это есть Луна, освещенная Землею, а яркий серп — Луна, освещенная Солнцем.

Здесь я приведу вкратце результаты моих исследований, напечатанных весной текущего года в №62 «Известий Николаевской Главной Астрономической Обсерватории в Пулковке».

Считая для простоты яркость серпа во всех лучах одинаковой, я получил для пепельного света следующие относительные яркости в разных цветах, причем яркость в фиолетовых лучах принята за единицу.

Лучи	Красные	Желтые	Зеленые	Фиолетовые
Яркость пепельного света	0.49	0.57	0.68	1.00

Из этой таблицы видно, что сравнительно с серпом пепельный свет вдвое богаче фиолетовыми лучами, чем красными; при этом яркость увеличивается весьма последовательно при переходе через лучи желтые и зеленые.

Уже отсюда мы можем заключить, что Земля, рассматриваемая из пространства, имеет голубоватый цвет.

Это заключение, естественно, привело к мысли, что в отражении Землею света в пространство значительную роль играет наша атмосфера, которая, вероятно, и придает Земле голубоватый цвет. Ввиду этого раньше, чем идти дальше, мы сделаем небольшое отступление для объяснения голубого цвета нашего неба.

**Теория голубого цвета неба.** — В работе, появившейся в 1871 г., и в последующих английский ученый лорд Рэлей (Rayleigh) дал полную и вполне строгую теорию голубого цвета неба, на основании которой этот цвет происходит от рассеяния

<sup>1</sup> Very F.W. Astronomische Nachrichten. №4696.



света молекулами воздуха и взвешенными в нем посторонними частицами. Если диаметры этих частиц малы сравнительно с длиной световых волн, то количество рассеянного ими света обратно пропорционально четвертой степени длины волны. Так, например, крайние фиолетовые лучи имеют длину волны в два раза меньшую, чем крайние красные, а потому первые рассеиваются в 16 раз сильнее, чем последние.

По мере увеличения частиц рассеяние лучей разных цветов выравнивается, и цвет неба становится белесоватым. Таково изменение цвета неба с приближением к горизонту, где мы видим более низкие части атмосферы, в которых взвешены сравнительно крупные частицы пыли, дыма и т.п.

Наконец, если диаметры частиц больше, чем длина волны, то лучи всех цветов разбиваются одинаково и мы наблюдаем цвет совершенно белый, как, например, цвет облаков.

**Анализ света, отраженного Землю.** — Пользуясь теорией лорда Рэлея, мы можем разделить свет Земли на две части: 1) свет, отраженный облаками и вообще крупными частицами, и 2) свет, рассеянный самим воздухом и частицами, диаметр которых меньше длины волны.

Применение способа наименьших квадратов к найденным выше значениям яркости пепельного света в разных лучах привело нас к следующим результатам:

Лучи	Красные	Желтые	Зеленые	Фиолетовые
Наблюденная яркость	0.49	0.57	0.68	1.00
Составляющая 1	0.44	0.44	0.44	0.44
Составляющая 2 наблюденная	0.05	0.13	0.24	0.56
Составляющая 2 вычисленная	0.08	0.14	0.19	0.57
Вычисление минус наблюдение	+0.03	+0.01	-0.05	+0.01

Из последней строки явствует, что согласие наблюдений с теорией весьма удовлетворительно. Мы видим, что рассеяние света самим воздухом (составляющая 2) играет весьма значительную роль в свете, посылаемом Землю в пространство. Эта составляющая мало заметна в красных лучах, но затем она быстро увеличивается и в фиолетовых лучах уже значительно превосходит составля-

ющую 1. Составляющие эти равны друг другу в синих лучах.

Таким образом, цвет Земли представляет смесь нормальной синевы неба с значительным количеством белого света; иными словами, Земля имеет цвет сильно белесоватого неба. Смотри на Землю из пространства, мы увидели бы диск указанного цвета и едва ли различили бы какие-либо подробности самой земной поверхности. Громадная часть падающего на Землю солнечного цвета успевает рассеяться в пространство атмосферой и всеми ее примесями раньше, чем дойдет до поверхности самой Земли. А то, что отражается самой поверхностью, успеет опять-таки сильно ослабеть вследствие нового рассеяния в атмосфере.

Исследованиями цвета пепельного света Луны занимался также на обсерватории Русского общества любителей мирведения в Петрограде С.С.Гальперсон. Его исследования подтвердили найденный мною факт богатства пепельного света фиолетовыми лучами (см. «Известия Русск. Астр. Общ.», №9, 1914 г.).

Изменения в окраске и яркости пепельного света. — Мы нашли, что пепельный свет происходит от освещения Луны светом, отраженным нашей атмосферой и всем, что в ней взвешено, а потому, если меняется отражательная способность атмосферы в целом, то должны меняться яркость и цвет пепельного света.

Что отражательная способность нашей атмосферы в целом меняется, об этом можно судить по многим фактам. Над каждым данным местом изменения отражательной способности атмосферы очевидны и зависят от облачности неба, прозрачности воздуха и от других метеорологических элементов. Эти изменения в разных местах могут взаимно уравновешивать друг друга, но, несомненно, не всегда. Бывают целые месяцы необыкновенной облачности или ясности, захватывающих громадные пространства земной поверхности. Кроме того бывают периоды, когда вся земная атмосфера становится как бы загрязненной вулканической или даже космической пылью, вызывающей особенно яркие зори. Все это вызывает изменение отражательной способности нашей атмосферы в целом и, как в зеркале, должно отражаться на яркости и цвете пепельного света. Из этого видно, какой интерес представляют систематические наблюдения пепельного света Луны. Исследуя пепельный свет, мы изучаем нашу Землю в том виде, она как видна из пространства.

# «Старая Луна в объятьях молодой»

В.Г.Сурдин,

кандидат физико-математических наук

Государственный астрономический институт им.П.К.Штернберга  
Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова

Гавриил Адрианович Тихов (1875—1960) — известный российский астроном, член-корреспондент Академии наук, один из основоположников отечественной астрофизики. Он вырос в интеллигентной семье в белорусском местечке Смолевичи, окончил гимназию и Московский университет, продолжил образование в Парижском университете, а затем стажировался в Медонской обсерватории под Парижем. Вернувшись в Россию, два года преподавал в Москве и Екатеринославе. В 1906—1941 гг. работал в Пулковской обсерватории. В 1919—1931 гг. преподавал в Ленинградском университете. В 1919 г. организовал и в течение 30 лет возглавлял астрофизическое отделение в Государственном естественно-научном институте им.П.Ф.Лесгафта в Ленинграде, сыгравшее большую роль в подготовке советских астрофизиков. С 1941 г. жил в Алма-Ате, работал в системе АН СССР. С 1947 г. заведовал созданным по его инициативе сектором астроботаники АН КазССР.

Несмотря на большую педагогическую и административную нагрузку, Тихов был настоящим наблюдающим астрономом. Он принимал участие в 20 научных экспедициях, сконструировал несколько оригинальных приборов, предложил новые методы изучения звезд и планет. Его учебник «Астрофотометрия» (1922) стал первым на русском языке руководством

по этому вопросу. Некоторые его исследования оказались классическими, например открытие эффекта Тихова—Нордмана, который проявляется у затменных двойных звезд как запаздывание фаз на кривой блеска в коротковолновой области спектра. Идеи Тихова о существовании растительной жизни на Марсе не получили подтверждения, но корректность проведенных им наблюдений никогда не оспаривалась. К нему вполне применимо суждение Морриса Коэна и Эрнеста Нагеля: «Можно сказать, что наука будет в безопасности до тех пор, пока существуют люди, которые заботятся о корректности используемых ими методов больше, чем о результатах, полученных с их помощью».

Одно время казалось, что астрономические исследования планет, которыми занимался Тихов, потеряли актуальность. Действительно, сегодня космические зонды передают с поверхности планет и из их окрестностей такую детальную информацию, какую никогда бы не смогли получить астрономы, наблюдая эти планеты с поверхности Земли. Но в истории науки не раз случалось, что старые приемы обретали новую жизнь. Напомню, что нашу Землю стали называть голубой планетой задолго до того, как ее увидели со стороны космонавты: благодаря работам российских астрономов Г.А.Тихова и С.С.Гальперсона еще в начале XX в. астрономы узнали, что Земля голубая, наблюдая ее «от-



Г.А.Тихов.

ражение» — пепельный свет — на диске Луны. Кстати, по-английски это явление ученые называют именно *earthshine* (отблеск Земли); хотя иногда используется и *Moon's ashen glow* (пепельный свет Луны), и даже поэтичное народное *the old Moon in the new Moon's arms* (старая Луна в объятьях молодой). Можно вспомнить, что еще Аристотель полагал, будто бы лунный диск — это зеркало, в котором отражается Земля. Сколь наивными казались эти мысли в эпоху Просвещения! Но, поди ж ты, в некотором смысле мудрец оказался прав: в начале XX в. астрономы, глядя на Луну, изучали Землю!

Сумев задолго до космической эры посмотреть на Землю со стороны, астрономы как бы



У телескопа.

поставили ее в ряд с другими планетами, изучавшимися тогда дистанционно. В первой половине XX в. были предприняты фотометрические и спектроскопические исследования планет, результаты которых частично подтвердились, а частично были опровергнуты прямыми измерениями космических зондов. На время дистанционные методы потеряли актуальность, но не были забыты. О них вспомнили после 1995 г., когда началась эпоха открытия экзопланет — далеких планет у иных звезд. Вряд ли в обозримой перспективе мы сможем послать к ним исследовательские автоматы, поэтому вся на-

дежда на астрономические методы: астробиология Гавриила Тихова вновь становится актуальной.

В связи с этим не забыт и пепельный свет Луны. Как мы видели, уже в самом начале XX в. пепельный свет Луны помог астрономам определиться с «внешностью» Земли: ее портретное сходство с Венерой в целом подтвердили и космические наблюдения. Наблюдая пепельный свет, астрономы выяснили, что его яркость месяц от месяца меняется. Это связывают с интенсивностью облачности на дневном полушарии Земли: чем больше облаков в атмосфере, тем больше солнечного света

Земля отражает к Луне. В будущем астрономы надеются изучить спектры экзопланет в надежде найти на них биосферу. Но возможно ли с гигантского расстояния найти жизнь на далекой планете типа Земли?

Ответить на этот вопрос помогла сама Земля. Можно реально провести такой эксперимент, направив телескоп на темную сторону молодой Луны и посмотрев, на что похожа наша Земля из космоса. И такие наблюдения были проведены. Спектр пепельного света в ближнем инфракрасном диапазоне показал, что в нашей атмосфере содержится двуокись углерода, вода, кислород и озон. Это и есть признаки планеты, на которой присутствует основанная на воде жизнь и происходит фотосинтез. Мощные линии воды, кислорода и озона отличают спектр Земли от спектров Марса и Венеры. Если фотосинтез на Земле остановится, кислород в атмосфере будет сохраняться не более 6 тыс. лет; так что, когда жизнь на Земле погибнет, кислород исчезнет почти мгновенно. Его наличие служит верным признаком жизни. Именно эти заметные детали в спектрах экзопланет астрономы будут искать в ближайшие годы. И методики наблюдения, разработанные Гавриилом Тиховым, могут в этом помочь.

Много лет назад Тихов мечтал о создании Института астробиологии. Возможно, пришло время создать такой институт? ■

# Новости науки

## Астрофизика

### Взрыв на белом карлике сверхвысокой массы

Звезды с массами от одной до нескольких солнечных заканчивают свою жизнь в виде белых карликов — тусклых объектов, состоящих из вырожденного вещества. Будущее большинства белых карликов — медленное остывание, в процессе которого они постепенно становятся совершенно невидимыми. Но некоторым карликам суждена другая судьба, связанная с наличием теоретического верхнего ограничения на их массу — так называемого предела Чандрасекара, равного примерно 1.4 массы Солнца ( $M_{\odot}$ ). В двойной системе изначально маломассивный белый карлик может со временем превысить этот предел. Существуют два основных сценария такого превышения: во-первых, масса белого карлика может превзойти предел Чандрасекара в результате перетекания на него вещества со звезды-компаньона; во-вторых, больше чандрасекаровского предела может оказаться масса объекта, возникшего в результате слияния двух белых карликов (до этого также бывших компонентами двойной системы).

Считается, что в результате превышения критической массы белого карлика на нем происходит термоядерный взрыв, который мы наблюдаем как вспышку сверхновой так называемого типа Ia. Поскольку дисперсия блеска на пике вспышки у этих сверхновых довольно мала, они нашли себе применение в качестве «стандартных свечей», т.е. индикаторов расстояния. При этом собственная яркость сверхновых весьма значительна, поэтому они видны изда-

лека и используются для уточнения параметров космологических моделей. Однако сам механизм вспышки до сих пор непонятен, иначе говоря, неясны процессы, происходящие на белом карлике начиная с момента превышения критической массы до взрыва. Между тем, именно особенности этих процессов в конечном итоге показывают, насколько параметры данной вспышки будут отличаться от средних и какова, следовательно, будет погрешность определенного по ней расстояния.

Особый интерес, естественно, вызывают вспышки, характеристики которых очень далеки от «эталонных». Редкие вспышки с экстремальными параметрами зачастую указывают на какие-то физические особенности, которые прячутся и в других, внешне нормальных, сверхновых и вносят погрешности в определение их параметров.

Начиная с 2003 г. было обнаружено четыре сверхновых типа Ia необычайно высокой яркости; они получили название сверхчандрасекаровских, поскольку возникло подозрение, что эти взрывы произошли на белых карликах, массы которых особенно сильно превысили критическое значение. И вот теперь подозрение подтвердилось<sup>1</sup>: Р.Скалзо (R. Scalzo; Йельский университет, США) и его коллеги по проекту «Фабрика близких сверхновых» впервые непосредственно оценили массу белого карлика, на котором произошла одна из четырех вспышек; ее обозначение SN 2007if, и на сегодняшний день это самая яркая сверхновая типа Ia.

Сверхновая SN 2007if была обнаружена в августе 2007 г. сразу

на нескольких телескопах. Однако ее детальное изучение пришлось отложить на два года: в спектре самой сверхновой линии галактики удалось получить только в августе 2009 г., так как она оказалась очень слабой и до этого времени полностью «тонула» в свете взорвавшейся звезды. По спектру галактики было определено расстояние до нее, что позволило более точно измерить яркость вспышки и, следовательно, массу вовлеченного в нее вещества. Точнее, яркость позволяет определить массу синтезированного при вспышке никеля, поскольку основной вклад в светимость сверхновой вносит излучение, генерируемое в ходе радиоактивного превращения никеля в кобальт и потом в железо. Масса никеля, оцененная по яркости вспышки, оказалась равной  $1.6 M_{\odot}$  — это уже больше чандрасекаровской массы. Более детальное моделирование кривой блеска SN 2007if позволило наложить ограничения не только на никелевое ядро карлика, но и на оболочку из непрогоревших углерода и кислорода. Ее масса равна примерно  $0.3-0.5 M_{\odot}$ , а в целом масса белого карлика перед вспышкой, возможно, превышала  $2 M_{\odot}$ .

Но как мог возникнуть карлик с массой в полтора раза больше критической? В модели одиночного аккрецирующего белого карлика масса может на короткое время перед вспышкой возрастать до  $1.7 M_{\odot}$ , но никак не до двух. Скалзо и его коллеги полагают, что сверхновая SN 2007if вспыхнула в результате слияния двух белых карликов, а не из-за аккреции вещества на поверхность одного из них. Теперь они планируют провести подобное исследование

<sup>1</sup> <http://arxiv.org/abs/1003.2217>

остальных сверхчандрасекаровских сверхновых, чтобы выяснить, можно ли и к ним применить модель слияния.

© Д.З.Вибе,  
доктор физико-математических наук  
Москва

## Астрономия

### Выбрано место для строительства экстремально большого телескопа

Телескопы восьми—десятиметрового класса уже не удовлетворяют астрономических appetитов. Все ближе новая эпоха — сверхбольших телескопов. Весной 2010 г. Европейская южная обсерватория (ESO) сделала важный шаг к ней: Совет ESO окончательно выбрал площадку для строительства 42-метрового Европейского экстремально большого телескопа (European Extremely Large Telescope, E-ELT). Этот инструмент будет возведен в чилийской пустыне Атакама, на горе Серро-Армазонес (3060 м), в 130 км от города Антофагаста и в 20 км от обсерватории Параналь, где установлена четверка телескопов VLT (Very Large Telescope). Из проектируемых телескопов нового класса E-ELT — самый большой, его ближайший конкурент — американский Тридцатиметровый телескоп (Thirty Meter Telescope, TMT).

«Нами пройден важный этап, — говорит генеральный директор ESO Тим де Зюв (Tim de Zeeuw). — Теперь мы сможем приступить к окончательному проектированию этого амбициозного инструмента». Решение о начале строительства будет принято в конце 2010 г., а ввод телескопа в строй намечен на 2018 г. Главное его зеркало предназначается для работы в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах.

Решение Совета о выборе площадки было принято на основании детального анализа метеорологических данных, сбор которых продолжался несколько лет. Разумеется, основным критерием был

именно астроклимат — количество ясных ночей, сухость воздуха, стабильность атмосферы. Но в расчет принимались также стоимость строительства и эксплуатации, необходимость интеграции с другими инструментами обсерватории. Вершина Серро-Армазонес одержала убедительную победу по всем параметрам; в частности, число ясных ночей в году там превышает 320.

Правительство Чили, одоббив это решение, уже выделило для будущей обсерватории ESO большой участок земли, площадь которого достаточна не только для строительства, но и для защиты телескопов от внешних помех, в первую очередь — от «светового загрязнения».

[http://www.spacedaily.com/reports/World\\_Biggest\\_Telescope\\_Set\\_For\\_Armazones\\_Chile\\_999.html](http://www.spacedaily.com/reports/World_Biggest_Telescope_Set_For_Armazones_Chile_999.html)

## Физика

### Сила трения в наномасштабе

Говорят, что сухое трение — самый «скользкий» вопрос физики. Действительно, законы, его описывающие, неоднократно подвергались ревизии<sup>1</sup>. Очередную попытку примирить разные подходы и разобраться в том, как при контакте двух тел на атомном уровне рождается сила трения, предприняла группа американских исследователей<sup>2</sup>.

Классический закон сухого трения, впервые открытый еще Леонардо да Винчи, а потом перетворенный Ш.Кулоном и Г.Амонтоном, гласит, что сила трения  $F_{тр}$  пропорциональна весу тела  $P$  и не зависит от площади контакта. В 50-х годах прошлого века в эту школьную формулировку было внесено важное уточнение: сила трения не зависит от *макроскопической* площади контакта. В то же время на *микроуровне* контактируют шероховатости, совокупная

площадь которых  $SS_{шер}$  значительно меньше видимой — вот от нее-то сила сухого трения зависит прямо пропорционально:  $F \sim SS_{шер}$ . Как в этом случае быть с зависимостью от веса тела? Если предположить, что площадь контактирующих шероховатостей ему пропорциональна, тогда макро- и микроскопическая трактовки между собой согласуются. Однако, как показано еще одним классиком науки, Г.Герцем, зависимость площади контакта двух упругих сфер от веса подчиняется сублинейному закону  $S \sim P^{2/3}$ .

Нестыковку двух подходов упомянутая группа американских ученых разрешает, рассматривая контакт тел уже не в микро-, а в наномасштабе. В этом случае можно говорить об отдельных контактирующих атомах, совокупная площадь которых напрямую не связана с площадью шероховатости, зато линейно зависит от веса груза, прижимающего поверхности друг к другу, — таким образом, мы снова возвращаемся к классическому закону Кулона—Амонтона.

Такая картина подтверждается результатами численных расчетов модельной ситуации, в которой контактируют аморфная углеродная игла с радиусом кривизны в единицы—десятки нанометров и алмазная поверхность. Обе поверхности пассивированы водородом, так что адгезией, вызванной короткодействующими силами химических связей, можно пренебречь.

При учете адгезии в модель необходимо включить помимо близкодействующих сил отталкивания еще и далекодействующие силы Ван-дер-Ваальса. Тогда эффективный вес увеличивается на величину  $P_{v-d-w}$ , обусловленную ван-дер-ваальсовским притяжением атомов, которая уже не связана с площадью контактов атомов прямой пропорциональностью. В результате зависимость силы трения от обычного веса становится сублинейной, но все же отличающейся от закона «двух третей» Герца. И, наконец, если давление велико, а острие имеет

<sup>1</sup> Подробнее см.: Волокитин АИ. Трение на наноуровне // Природа. 2009. №8. С.26—34.

<sup>2</sup> Yifei Mo et al. // Nature. 2009. V.457. P.1116—1119.

гладкую форму с радиусом кривизны в микрометровом диапазоне, можно ожидать, что площадь соприкасающихся атомов будет стремиться к площади контактирующих шероховатостей и зависимость силы сухого трения от веса примет вид  $F \sim P^{2/3}$ .

<http://perst.issp.ras.ru> (2009. Т.16. Вып.5).

## Общая биология

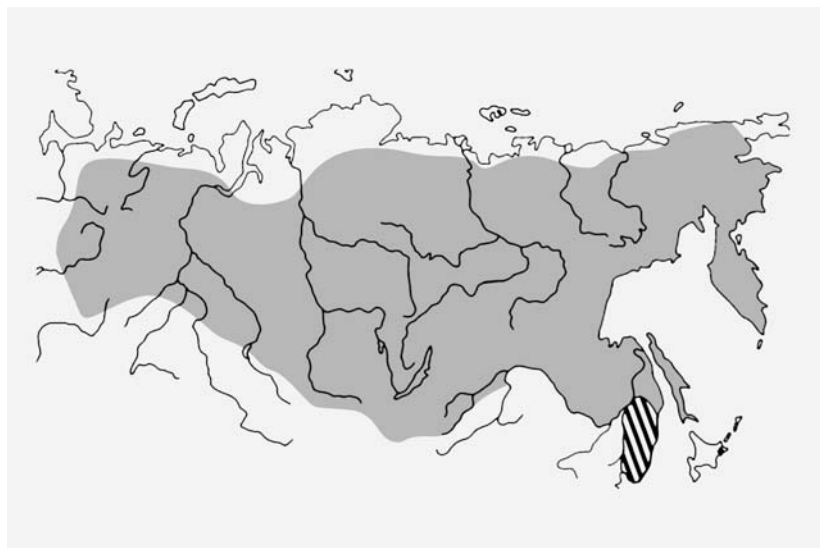
### Амфибии-рекордсмены

Считается, что амфибии и рептилии не переносят низких отрицательных температур, а потому не могут жить в холодных регионах. Яркое исключение — сибирский углозуб (*Salamandrella keyserlingii*)<sup>1</sup>. Ареал этой хвостатой амфибии занимает почти всю Сибирь, часть Европы и выходит в Заполярье, причем многочисленна она даже на «полюсе холода» Евразии — в бассейнах верховий рек Яна и Индигирка, где температура воздуха зимой нередко опускается ниже  $-60^{\circ}\text{C}$ .

Феноменальная холодоустойчивость сибирского углозуба описана в 1984 г.: ученые под руководством Д.И.Бермана (Институт биологических проблем Севера ДВО РАН) выяснили, что *S.keyserlingii* может без ущерба для здоровья выдерживать охлаждение в лабораторных условиях до  $-35^{\circ}\text{C}$ . Кажется бы, найдено объяснение уникальной адаптации, которая позволила сибирскому углозубу колонизировать почти всю северную Евразию. Чтобы подтвердить гипотезу, важно было определить пороги переносимых отрицательных температур у ближайшего родственника сибирского углозуба, обитающего в более мягких по сравнению с ним климатических условиях.

В качестве объекта исследования был выбран второй вид рода — углозуб Шренка (*S.schrenckii*). К слову, его видовую независимость отстояли те же авторы в совместной работе с генетиками, а затем подтвердили и

<sup>1</sup> Подробнее см.: Берман Д.И. Идеальный приспособленец, или Адаптивная стратегия сибирского углозуба // Природа. 2002. №10. С.59—68.



Области распространения углозубов в России: сибирского (серая заливка) и Шренка (штриховка).

японские исследователи<sup>2</sup>. Углозуб Шренка живет в основном на Сихотэ-Алине, в горах юго-западного Приморья и на прилегающих низменностях. В этих регионах зимой значительно теплее, и можно было бы ожидать, что углозуб Шренка, в отличие от сибирского, не столь устойчив к низким температурам и потому не вышел за пределы незначительного ареала.

Устойчивость углозуба Шренка к холоду изучалась по схеме, отработанной на сибирском углозубе. Животных старше одного года собирали в сентябре 2008 г., когда они уже готовились к зимовке в укрытиях; оба вида обычно зимуют в верхних слоях (первые 7—10 см) почвы или мохового покрова, в кочках и под трухлявыми корнями и стволами деревьев. Эксперименты проводили в испытательной холодильной камере, где скорость понижения температур подбиралась соответственно природной. В интервале от 0 до  $-4^{\circ}\text{C}$  задавалось ступенчатое охлаждение углозубов, чтобы обеспечить медленную дегидратацию клеток и необходимое время для

<sup>2</sup> Берман Д.И., Деренко М.В., Малайрчук Б.А. и др. // Зоол. журн. 2005. Т.84. №11. С.1374—1388; Matsui M., Yoshibikawa N., Tomimago A. et al. // Mol. Phylogenet. and Evolut. 2008. V.48. P.84—93.

синтеза криопротекторов. Затем температуру равномерно снижали на  $2.4^{\circ}\text{C}$  в сутки. В общей сложности охлаждение до  $-40^{\circ}\text{C}$  заняло четыре месяца. Согревали животных со скоростью  $0.5^{\circ}\text{C}$  в сутки.

Как ни удивительно, но углозуб Шренка выдержал, подобно сибирскому, замораживание вплоть до  $-35^{\circ}\text{C}$ . Следовательно, он вполне мог бы обитать даже в самых холодных регионах Сибири. Однако этого не происходит, и его рекордные достижения не имеют адаптивного смысла.

В результате филогенетического анализа установлено, что *S.keyserlingii* и *S.schrenckii* — это два разновозрастных вида (1 и 2.4 млн лет), их предковые ветви разошлись около 7 млн лет назад<sup>3</sup>. Значит, холодоустойчивость обоих видов может быть преадаптацией, унаследованной от общего предка. Могла она возникнуть и конвергентно в процессе освоения холодных территорий; вероятнее всего, в холодные эпохи плейстоцена, например в Манчжурии, где углозуб Шренка тоже обнаружен.

Как бы то ни было, но при равной устойчивости к холоду обоих видов сибирский углозуб освоил огромные пространства,

<sup>3</sup> Берман Д.И., Деренко М.В., Малайрчук Б.А. и др. // Зоол. журн. 2009. Т.88. №5. С.530—545.

а углозуб Шренка ограничился малым. Значит, дело не только в холодоустойчивости. Поиск возможных причин — одна из двух важнейших очередных задач авторов, вторая — выяснение холодоустойчивости ближайших к роду *Salamandrella* видов других родов.

Доклады Академии наук. 2010. Т.431. №5. С.714–717 (Россия).

## Палеогеография

### Растительность и климат бассейна озера Байкал в межледниковья

Наиболее надежную реконструкцию палеоклиматических изменений в таком глубоко континентальном районе, как бассейн оз. Байкал, позволяют сделать пыльцевые спектры, отражающие характер растительности и, следовательно, особенности регионального климата. Большая группа ученых из Института археологии и этнографии СО РАН (Е.В. Безрукова и др.), Университета Южной Каролины (А.А. Прокопенко) и Института земной коры СО РАН (Н.В. Кулагина) представили новую, с высоким разрешением, палиностратиграфию региона, полученную по материалам донных отложений Байкала, малых озер и болотных систем его бассейна и датированную радиоуглеродным и палеомагнитным методами. Среднее временное разрешение палинологической информации — от 30 до 500 лет для разных периодов.

На обширной территории бассейна Байкала существенные изменения в составе растительности происходили на протяжении последнего плейстоценового климатического цикла (125–10 тыс. лет назад), а также нескольких межледниковий (406–357, 328–295, 236–186 тыс. лет назад), что на шкале морских изотопно-кислородных стадий соответствует МИС 11, 9, 7. Байкальские климатические записи уникальны тем, что получены из непрерывных, к тому же датированных, разрезов донных от-

ложений сверхглубокого, не промерзавшего в ледниковые периоды до дна, внутриконтинентального озера. Они иллюстрируют повторяющиеся изменения в структуре ландшафтов от лесотундровых, тундровых и степных, которые господствовали в ледниковые периоды и интерстадиалы позднего неоплейстоцена, к преимущественному преобладанию хвойных лесов в межледниковые периоды.

С наступлением межледникового климата МИС 11 в бассейне Байкала господствовал лесной тип растительности: сначала преобладали темнохвойные леса из ели и кедра, свидетельствуя о влажном умеренно холодном климате, затем стали активно распространяться светлохвойные, главным образом сосновые, леса, отражая специфику регионального распределения растительности в условиях высокогорного рельефа. Эта подстадия первого межледникового периода рассматривается авторами как оптимум МИС 11, климат которого был умеренно прохладным и влажным за счет высокого уровня годовых атмосферных осадков. Средняя летняя температура могла быть тогда на 2°C ниже, зимняя — на 2–3°C выше, а среднегодовая сумма атмосферных осадков — на 50–1000 мм больше их современных значений. Снижение доступной растениям влаги и повышение температуры в подстадию МИС 11.3 вызвало сокращение пихтовых лесов и распространение сосновых и лиственничных. Еще большее снижение влаги (МИС 11.2) привело к сильнейшей деградации лесной растительности и, наоборот, проникновению тундровой и степной на горные склоны разной экспозиции и высоты. Хотя в следующую подстадию лесные ландшафты частично восстановились, их видовой состав резко отличался от предыдущих — господство перешло к елово-лиственничным редколесьям с участием кедра и березы. Высокий уровень доступной растениям почвенной влаги, скорее всего, был следствием снижения летних

температур, а значит, и уровня испарения. Переход к ледниковому периоду — временному аналогу МИС 10 — ознаменовался еще большим уменьшением тепла и влаги, что вызвало сильное сокращение лесных ландшафтов и расширение тундровых.

О нестабильных природных условиях свидетельствует детальная пыльцевая запись из отложений, сформировавшихся как в межледниковые периоды МИС 9, 7, так и в разделявший их ледниковый период МИС 8 (295–236 тыс. лет назад). Особенностью межледниковья МИС 9 считается широкое распространение кедровых и лиственничных лесов при слабом развитии сосновых и отсутствии оптимальных условий для пихтовой тайги — такой состав растительности говорит об умеренно холодном, резко континентальном климате. После климатически неоднородного ледникового периода МИС 8, когда господствовала горно-тундровая и степная растительность, широко распространились в начале межледниковья МИС 7 еловые леса с заболоченными сообществами из карликовой березы. Затем еловую тайгу заменила пихтовая, на смену которой пришли преимущественно лиственничные леса, и только в финале межледниковья произошло расселение кедровых и сосновых лесов вместе с пихтой, елью и лиственницей.

Пыльцевая запись столь изменчивой природной среды Байкальского региона имеет в позднем неоплейстоцене временное разрешение 400 лет. С наступлением теплого климата (подстадия МИС 5e) снова стали преобладать темнохвойные леса из ели, кедра и пихты. Резко континентальный, умеренно холодный климат характеризует подстадию МИС 5d. Затем короткий интервал возврата влажного и более теплого климата инициировал экспансию елово-пихтово-кедровой тайги. Начало оледенения МИС 4 характеризовалось умеренно холодным и влажным климатом и господством растительности, анало-

гичной современной тундре. Климат второй половины МИС 4 был резко континентальным, холодным, с марево-попынными степями на сухих прогреваемых пространствах и эвтрофными болотами в понижениях рельефа. При переходе к МИС 3 необычайно широко распространились листовеннично-еловые редколесья, осоковые и ивовые сообщества переувлажненных мест. В начале МИС 2 растительность отражала контрастные условия горного региона — доминировали лесотундры с елью, лиственницей, осоковые болота наряду с попынно-маревыми и разнотравными степями. В переходный к голоцену период преобладали листовеннично-еловые лесотундры, кустарничковые тундры и степные сообщества. Оптимум голоцена начался в регионе примерно 10 тыс. лет назад с наступлением умеренно теплого и влажного климата, способствовавшего экспансии темнохвойной тайги из кедра, ели и, главное, пихты сибирской, и завершился около 6,5 тыс. лет назад. В более теплом, но менее влажном постоптимальном периоде голоцена формировался современный облик растительности с преобладанием светлохвойного комплекса из лиственницы и сосны.

В целом структура ландшафтов и климатический тренд межледниковых периодов были различными и разнонаправленными.

Материалы VI Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода. Новосибирск, 19–23 октября 2009 г. С.66–68 (Россия).

### Палеонтология

#### Фауна кембрийского типа в раннеордовикских отложениях

Кембрийская бесскелетная фауна описана в основном по находкам в бриджеских сланцах канадской провинции Британская Колумбия. В отложениях ордовикского периода подобная фауна не встречалась, однако оставалось неясным, вымерла ли она в конце кембрия или просто на рубеже кембрия

и ордовика исчезли условия, в которых остатки таких животных смогли бы сохраняться в виде окаменелостей.

Новые находки, сделанные в долине Драа на юге Марокко и описанные международной группой палеонтологов под руководством П.Ван Роя и Д.Бриггса (P.Van Roy, D.Briggs; Йельский университет, США), свидетельствуют, что некоторые из животных, обитавших в морях около 500 млн лет назад, продолжали существовать на десятки миллионов лет позднее, чем считалось ранее.

Найденные палеонтологами более 1500 окаменелостей относятся к раннему ордовикскому времени (488—471 млн лет назад), когда разнообразие жизни на Земле стало чрезвычайно быстро возрастать. До недавнего времени окаменелости ордовикского периода были представлены почти исключительно скелетными частями животных — раковинами и панцирями. Животные без твердых скелетов в ту эпоху сохранялись в виде окаменелостей лишь в исключительных случаях — когда подвергались очень быстрому захоронению в бескислородной среде, где до них не могли добраться ни хищники, ни гнилостные бактерии. В результате послекембрийская палеонтологическая летопись оказалась крайне фрагментарной. Марокканские находки заполняют некоторые из этих пробелов.

Исследователи каталогизировали свыше 50 форм бесскелетных животных, в том числе ранее встречавшихся либо в более поздних, либо в более ранних породах. На уровне вида все они новые, но около двух третей из них принадлежат к тем же родам и семействам, что известны в более раннем, кембрийском, периоде.

Географический разброс мест новых находок (окаменелости обнаружены в 40 пунктах долины Драа) показывает подлинную панораму этого этапа эволюции жизни на Земле. До сих пор ордовикские находки такого типа были редки и относились к необычным местообитаниям, вроде изолиро-

ванных мелководных лагун, обязательно представительных для картины жизни в целом, поэтому оставалось неизвестным, как долго просуществовала кембрийская фауна. Судя по находкам из Марокко, мягкотелые животные, сходные с кембрийскими, в ордовикском периоде жили также в открытом океане.

Nature. 2010. №465. P.215–218 (Великобритания).

### Археология

#### Камень в жизни средневекового человека на Руси

Археолога, изучающего жизнь русского средневекового города, не удивишь находками из природного камня. В его руки постоянно попадают точильные камни из песчаника и белокаменные литейные формочки, бусы из горного хрусталя и сердолика, известняковые надгробные плиты и многое другое. Люди давно оценили камень за прочность и красоту и постоянно используют его. Иной читатель, возможно, подумает, что в поделках из природного камня мало интересного. Но давайте посмотрим на две находки, обнаруженные на территории Московского кремля в районе Соборной площади, и убедимся, сколько информации дает изучение этих незначительных по размерам предметов.

Речь идет о двух каменных крестиках из лазурита и розового мрамора. С XIX в. такие кресты в российской исторической литературе принято называть корсунчиками и связывать с корсунскими древностями эпохи крещения Руси. Археологи и искусствоведы достаточно уверенно оперируют этим термином и в настоящее время. Анализ упоминаний подобных предметов в литературе показывает, что каменные наперсные крестики относятся к категории находок, которые при археологических исследованиях древнерусских центров довольно редки. Так сложилось, что вполне обычным стало упоминание кор-



сунчиков в публикациях о любых каменных нательных крестиках, без уточнения материала, деталей оформления, системы подвески, оковок их концов и т.п. Следует, однако, учитывать, что большая часть таких изделий выполнена из местных сланцев (чаще всего из шифера), известняков и других горных пород. Как правило, такие кресты редко имеют орнаментированную наружную поверхность, и только в одном случае известен каменный (сланцевый) крестик с остатками обкладки из серебра, найденный в районе Суздаля.

Меньший по размеру каменный крестик из музейных коллекций Кремля сделан из розового мрамора и имеет неподвижно закрепленное оглавление для продевания шнура. Снаружи его золотые оковки украшает надпись «ИС-ХЪ» и «НИ-КА», выполненная в технике гравировки с чернью. В античности мрамор (в переводе с греческого — блестящий камень) считали камнем богов. Наиболее известны и ценными месторождения розового мрамора в Армении и на территории Средней Азии (особенно Газганское в Узбекистане).

Второй крестик, имеющий подвижно закрепленную петлю для шнура, сделан из лазурита темного синего цвета с вкраплениями золотистого пирита. Это бадахшанский лазурит, который добывали в Средневековье только на северо-востоке Афганистана, в горах восточного Гиндукуша, на хорошо известном месторождении Сары-Санг в верховьях р.Кокчи. Горно-бадахшанский лазурит особенно ценился в те времена на арабском Востоке и даже в Китае. Через Иран и Бухару он попадал в Европу и Малую Азию. При детальном изучении второго крестика выяснилось, что на его небольших по размеру золотых оковках процарапана такая же сакральная формула. Она выполнена в технике граффити и размещена нетрадиционно: видимо, оковки в какой-то момент снимали, а затем поместили на изделие,

не обратив внимания на едва различимые надписи. До настоящего времени в литературе были сведения только о надписи «ИС» на одном из концов креста из лазурита.

В археологическом материале Древней Руси крестики, сделанные из горных пород и минералов района Средиземноморья и Ближнего Востока, встречаются редко, а экземпляры с оправками из серебра и золота вообще относятся к единичным находкам. Больше всего крестов из яшмы и мрамора серого, розового и зеленоватого оттенков. Единичные экземпляры таких изделий зафиксированы в Киеве, Гродно, Москве и Новгороде. Наиболее редки крестики из лазурита или ляпис-лазури: один обнаружен в Москве, другой происходит из Вышгорода под Киевом.

Два кремлевских наперсных крестика оправлены в золото, что отражает их особое почитание и социальную значимость. Поиск аналогий показал, что золото для оправы концов использовали не так уж часто. Из афонских монастырей происходят только два аналогичных креста: конца X — XII и XIII—XIV вв. Анализ археологических материалов из древнерусских городов позволил к сегодняшнему дню выявить лишь небольшую группу каменных изделий в оправках из драгоценных металлов: известны только пять наперсных крестов в оправках из золота и шесть — из серебра. Такие предметы личного благочестия в золоте найдены в Киеве, Старой Рязани и Московском кремле. Один из киевских несет на оковках с внутренней стороны городчатый орнамент, а с наружной — традиционную надпись «ИС-ХС НИ-КА», выполненную в технике перегородчатой эмали. Симптоматично, что все находки наперсных крестов в драгоценных оправках зафиксированы в археологическом материале столичных центров трех крупнейших княжеств — Киевского (Киев и его округа), Рязанского (городище Старая Рязань) и Суздальского (Семьинское городище, Москва).

Надписи на оправках кремлевских каменных крестиков идентичны по содержанию — это сакральная формула «Ιησους Χριστος νικα» — «Иисус Христос победил». На оковках крестика из розового мрамора надпись выполнена гравировкой с чернью «официальным», или «торжественным», стилем, что сближает ее с начертаниями рукописных книг и надписей на предметах христианского культа (иконах, фресках, крестах и пр.). На оковках крестика из лазурита надпись сделана в технике граффити. Поэтому более вероятная дата изготовления золотых оправ с надписями на них относится к середине — второй половине XIV в., хотя сами крестики, несомненно, сделаны в XII в. в мастерских одного из центров Византии.

Внимательное изучение показывает, что оба кремлевских каменных крестика были привезены из Византии в XII в. и долгое время хранились их московскими владельцами. В XIV в. на оковки нанесли русские надписи, и уже в таком виде они попали в землю в один из сложных моментов истории Москвы. Отсутствие точных данных о месте и глубине их залегания в жилом слое города не позволяет определить дату, когда они стали кладом: случилось ли это в 1382 г., во время разрушения Москвы Тохтамышем, или позже, на рубеже XIV—XV вв.

Итак, два небольших предмета из природного камня поведали нам о том, где добыли лазурит и мрамор и где мастер-камнерез XII в. изготовил крестики; с караваном товаров они прибыли на Русь и попали в Москву. Изделия оправили золотом, и они долгие годы передавались из поколения в поколение в московской семье с высоким социальным статусом. В последний раз человек прикасался к ним на рубеже XIV—XV вв., когда прятал эти драгоценные символы христианства в землю.

© Т.Д.Панова,  
доктор исторических наук  
Москва

# Тысячелетия на дне озер

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

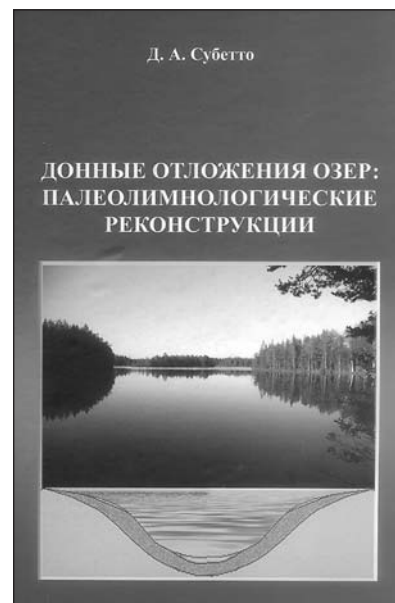
**П**алеогеографические исследования давно уже распространились с суши на дно морей и озер, поэтому многие научные новости и даже открытия приходят «из-под воды». Книга Дмитрия Александровича Субетто из этой серии.

Но ее содержание шире названия. В ряде аспектов это палеогеография региона в ее широком понимании, основанная на весьма информативных и комплексно обработанных материалах, добытых со дна многих озер России, преимущественно ее европейской части. Научная книга, подводящая итог изучения проблемы за десятилетия, дает читателю и сводку материалов, и квинтэссенцию итоговых (на данном уровне познания) результатов в виде четких позиций по ключевым вопросам. Эта задача применительно к истории развития озер охваченного региона в поздне- и послеледниковье выполнена, во всяком случае, в отношении распространения и распределения водных масс и ряда вопросов общей палеогеографии. Если до сих пор интересующийся регионом и вопросами его естественной истории специалист буквально терялся в обилии разбросанных по разным публикациям сведений, а также в несоответствиях и разногласиях, то теперь почти все основные исходные материалы сосредоточены в одной книге. (Есть, правда, исключения, и о них ниже.) В настоящее время на региональном научном горизонте не видно другого специалиста, который мог бы это сделать полнее и лучше.

Изучение озер и их отложений в России, особенно в ее европейской части, имеет давнюю историю и устойчивые традиции, что вполне отражено в специальной главе книги. Здесь достаточно упомянуть имена Г.Ю.Верещагина, В.П.Шостаковича, И.В.Молчанова, К.К.Маркова, Н.И.Семеновича, Д.Д.Квасова. Автор, опираясь и на результаты исследований предшественников, и на собственные с коллегами многолетние разработки, дает развернутую картину современного состояния исследований донных отложений озер. Наибольший объем книги занимают и, по-видимому, наибольшую значимость имеют разделы, посвященные озерам Европейского Севера и Северо-Запада России. Эти материалы отражены и в основных выводах книги.

Будучи по образованию литологом-геохимиком, автор уделяет большое внимание именно этим характеристикам донных осадков, что не часто осуществляется в геологических и палеогеографических исследованиях по четвертичному периоду. Развернуто представляя в книге такого рода данные, автор оказывается «во всеоружии» и при решении весьма актуальных ныне вопросов промышленного и сельскохозяйственного загрязнения водоемов и шире — проблем геоэкологической значимости в эпоху возникновения природно-техногенных ландшафтов. В XXI в. результаты таких исследований представляют особую значимость. В этом отношении книга отражает императивы времени.

Книгу Субетто нельзя отнести к категории легкого чтения



**Субетто Д.А. ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ОЗЕР: ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ.**

СПб.: Изд-во РГПУ им.А.И.Герцена, 2009. 339 с.

© Никонов А.А., 2010

(да и бывают ли подлинно научные книги легкими для читателя и для автора?). В данном случае это определяется и охватом огромного по территории и временному интервалу материала, и сложностью (с осцилляциями и отклонениями) хода позднелейстоценовой и голоценовой истории региона и отдельных конкретных объектов, в первую очередь крупнейшего водоема — Ладожского озера.

Успех исследований в последние десятилетия XX — начала XXI в., которые и составляют основное содержание книги, был обеспечен продуманным и весьма актуалистическим выбором категории объектов и задач исследования; комплексностью подхода и использованием разнообразных, в том числе передовых методов и технологий и участием специалистов разного профиля; использованием зарубежного опыта и результатов работ по региону; сотрудничеством по ряду направлений с зарубежными институтами и коллективами.

Важную роль в реализации этих работ сыграли профессионализм, целенаправленность, настойчивость и организационные способности автора книги. В книге отражен ряд пионерских достижений в палеогеографических экспедициях, которые читатель без труда обнаружит сам. Здесь только отметим, хотя бы одной строчкой, удачный опыт тефрохронологических исследований, осуществленных совместно со шведскими коллегами. В озерных отложениях на Карельском перешейке удалось обнаружить пелловый осадок произошедшего 12 тыс. лет назад извержения вулкана Катла в Исландии.

Но главное место среди способов датирования донных отложений озер, естественно, занимают традиционные методы — спорово-пыльцевой анализ и обязательный ныне радиоуглеродный ( $^{14}\text{C}$ ). В лучших лабораториях точность определения возраста органических

остатков методом  $^{14}\text{C}$  достигает 5—7%, что при использовании шкалы календарной коррекции обеспечивает необходимую точность для геологических и палеогеографических сопоставлений и заключений. Широкое использование автором радиоуглеродного метода — это, без сомнения, его значительное достижение.

Читателей у книги, без сомнения, найдется немало. Среди них будут такие, кого издание интересует само по себе и которые полностью воспримут позицию автора. Другие обратят внимание на неясные (и в отдельных случаях не вполне выявленные) вопросы, на некоторые несоответствия и разночтения. То, что книга их высветила, вполне правомерно отнести к ее достоинствам. Некоторые читатели, возможно, захотят поглубже разобраться в фактах, степени соответствия им авторских обобщений и задумаются над тем, где, что и как надо в первую очередь изучать далее. Для этих дотошных исследователей книга может и должна стать базовой. Думается, поэтому в настоящих заметках уместно не только отметить достоинства книги, но и помочь пытливым читателям разобраться с неясностями и нестыковками.

Автор не уточняет в начале монографии, базируется ли его исследование только на изучении донных осадков озер в современных их границах, или в их ранних пределах (что в этом регионе и выбранном временном интервале далеко не одно и то же). Если для гидрологических реконструкций это могло и не иметь решающего значения, то для палеогеографических, к которым автор постоянно обращается и которые составляют существенную часть книги, при таком ограничении трудно рассчитывать получить достаточно полную картину палеогеографии региона. Возможно, именно из-за этого пропущенным оказался ряд опорных разрезов на западе, северо-вос-

токе и юге Ладожского озера. По южным берегам озера оставлен без внимания целый блок новейших палеогеографических исследований — тех, что рассматриваются в серии публикаций сотрудников геологического факультета Санкт-Петербургского университета. Явно недостаточно учтены и новейшие достижения коллег по исследованию озерных водоемов в гумидной и субарктических зонах на территории Эстонии и Финляндии. Имеются упущения и в нескольких вопросах более общего свойства.

В главе «Закономерности формирования донных отложений озер» в качестве одного из итогов своей работы автор приводит, в частности, специальную таблицу №5.1 времени начала осадконакопления в озерах гляциальной зоны. Если нанести данные таблицы на карту (в книге этого не сделано), то окажется, что в озерах Валдайской возвышенности осадконакопление началось позже, чем в озерах Ильмень, Ладожском и Онежском, но почти тогда же, когда в Южной Карелии и на Карельском перешейке. Иными словами, не прослеживается закономерное омоложение начала распространения озерных вод к северу и северо-западу по мере отступления края льда, что было бы логично и о чем неоднократно пишет автор. В чем же дело? Если для расхождения во времени начала осадконакопления в озерах, расположенных на одинаковых широтах и с незначительным различием в высоте (Ладожской котловины и котловин озер на Карельском перешейке), автор находит причину в сохранении глыб мертвого льда (что сколько-нибудь значимо не аргументируется), то чем объяснить остальные несогласования? А между тем в этих случаях речь идет о сотнях километров, и вопрос, который никак не назовешь маловажным с палеогеографической точки зрения, остается открытым. А может быть, палеоге-

ография здесь ни при чем, все дело в том, что в разных районах донные отложения удавалось пробурить на различную глубину, тем более делалось это в разные годы и с разными техническими возможностями.

Начало осадконакопления в озерах (озерных котловинах) автор определяет «в большинстве современных озер... не ранее 13 тыс. радиоуглеродных лет назад». Такое удревнение по сравнению с еще сохраняющимися в недавних монографиях и тем более учебниках представлениями оправдано. Вопрос только в том, достаточно ли далеко в глубь времени автор отодвигает начало процесса. Как быть, например, с обнаружением еще несколько десятков лет назад относящихся к потеплению бёллинг (Bø) осадков на северной низменности Карельского перешейка? И как тогда истолковать тот общепринятый, в том числе и автором книги (рис.2.3), факт начала деградации последнего оледенения от ошашковской к впсовской стадии ранее 16 тыс. лет назад  $^{14}\text{C}$ ? Это что же, произошло до начала резкого потепления климата?

Истина, конечно, «на дне». Но не только. Да и до дна реального надо еще дойти, чтобы начать историю озер. В разных разделах книги автор в том или ином варианте повторяет тезис о начале осадконакопления в водной среде вслед за отступлением фронта ледникового покрова 14—13 тыс. лет назад (после невисской стадии), в конце хронозоны аллерёд (AL) и в хронозоне молодого дриаса (YD). Но пока удалось — и это само по себе уже большое достижение — дойти до самых ранних органосодержащих слоев. Впереди, точнее внизу, еще метры, местами до 10—20 м (!), немых осадков. Это сколько тысяч лет?

Остается необоснованным и еще один важный для палеогеографии региона тезис, а именно об осушении южной части

дна Ладожского озера в голоцене (с.237). Такое заключение в утвердительной форме противоречит обильным и добротным, с аналитическим обоснованием, стратиграфическим материалам практически по всем берегам Ладоги, в том числе и по южному, лучше других изученному. Тут нельзя обойтись и без публикаций работ первой половины XIX в. В.Рамзая и В.Таннера, которые сопровождаются спектрами береговых линий. Такие спектры по берегам Ладоги отчетливо фиксируют высоту береговых линий и в среднем и в позднем голоцене на десятки метров выше современного уровня озера.

В отличие от озер в других регионах (охарактеризованных кратко в более ранних главах), характеристика основных колонок Ладожского озера, включая наиболее полные и с самыми древними отложениями, дается раздельно по лито-, хроно- и биостратиграфии. Для читателя, стремящегося получить разностороннюю характеристику отложений по разрезу, понять условия их накопления, палеогеографическую и палеогидрографическую обстановку в пункте и вокруг, это затрудняет восприятие, тем более что ряд важных колонок (разрезов) не сопровождается биостратиграфическим обоснованием, а некоторые перепутаны номерами (с.243).

Автор несколько раз употребляет термин «катастрофический» применительно к резким природным изменениям в сторону потепления около 10 тыс. лет назад  $^{14}\text{C}$ , когда начался расцвет органической жизни во всей гумидной зоне, т.е. улучшение климатических условий. В словарях же слово «катастрофа» разъясняется однозначно: как внезапное бедствие, событие с тяжелыми последствиями.

Есть еще одно общее, не региональное значения, замечание.

Известно, что хронология событий прошлого — это каркас, на котором только и может базироваться палеогеография. В четвертичной геологии и палеогеографии таким каркасом служат радиоуглеродные датировки. На фоне других районов России рассматриваемый регион обеспечен результатами радиоуглеродного анализа по  $^{14}\text{C}$  очень неплохо. На Западе исследователи уже полностью перешли на калибровочную шкалу возраста, в России длится переходный период. В это время единственно приемлемый выход для специалиста, пользующегося результатами в традиционной и новой шкале, — обязательно указывать каждый раз оба значения. Автор так и делает, но не всегда. Хуже того, нередко использует лишь одно значение, без указания шкалы, по которой оно получено. И неизбежно хронология «плывет». Свою обязанность автор, хотя и дал вначале сравнительную таблицу, фактически переложил на читателя, предварительно этого читателя в ряде случаев запутав и раздосадовав.

Стоит упомянуть, что книга имеет объем 340 стр., содержит 44 таблицы, 106 иллюстраций, обширный список литературы из 580 названий, включая около 60 публикаций автора и с его участием. Оставалось только уделить больше внимания подготовке книги к изданию и использованию в оформлении передовых технологий. Из-за малого формата издания важнейшие диаграммы и колонки напечатаны в масштабе и виде, читателем практически не распознаваемом. Это уже ответственность издательства. Есть досадные промахи в редактировании.

И все же главное — книга вышла. И будет востребована. А исследования продолжены на новом уровне. Успехов в этом необходимо пожелать автору и «его команде». Такие исследования и такие исследователи обречены быть успешными. ■

## Геология

**В.Н.Комаров.** ПУСТЬ РАСЦВЕТАЮТ ВСЕ ЦВЕТЫ. М.: Творческий информационно-издательский центр, 2010. 136 с.

В незапамятные времена уходят истоки резьбы по дереву. Разновидность этого замечательного искусства — корнепластика, т.е. создание художественных образов из причудливых корней, стволов и ветвей деревьев и кустарников. В книге приведена уникальная фотогалерея из 370 авторских работ, созданных на протяжении более 25 лет.

Автор — геолог, доцент Российского государственного геолого-разведочного университета им.С.Орджоникидзе. В силу своей профессиональной деятельности он приобрел большой опыт в поисках объектов для творчества в самых разных по ландшафтным условиям регионах. Тем не менее нигде не встречался такой удивительный материал для корнепластики, как в горном Крыму. В течение многих лет автор принимал участие в Крымской геологической практике, которая проходила в Бахчисарайском р-не. Значительную часть территории здесь слагают сложнослоистые отложения так называемой таврической серии, характеризующейся многократным ритмичным чередованием небольших по мощности слоев песчаников, алевролитов и аргиллитов. Эти породы отличаются различной прочностью и, соответственно, неодинаковой степенью податливости к разрушению. Все это приводит к тому, что корни местных кустарников и древесных растений приобретают необыкновенно причудливые формы.

Книга рассчитана на самый широкий круг читателей — на аудиторию творческих, романтических людей, по-настоящему

понимающих и ценящих красоту окружающего мира.

## История науки

**ЛЕВ ЛЬВОВИЧ КИСЕЛЕВ.** НАУКА КАК ИСТОЧНИК ЖИЗНЕННОГО ОПТИМИЗМА. М.: ИПО «У Никитских ворот», 2010. 512 с.

Книга посвящена памяти Л.Л.Киселева, выдающегося молекулярного биолога и биохимика и замечательного человека. Задумана она была еще самим Львом Львовичем как итог 70 лет жизни: статьи о науке и культуре, список трудов и, конечно, автобиография. Именно с нее и начинается книга (английский вариант автобиографии вышел в серии «Comprehensive Biochemistry»). В этом повествовании, занимающем почти 100 страниц и написанном просто и искренне, не только факты личной биографии и истории становления научных направлений в институте, в котором прошла вся научная жизнь автора. Здесь также точно передана атмосфера жизни сообщества молекулярных биологов на протяжении более полувека. О полноте этого замечательного рассказа говорит и список приведенной литературы, в котором 200 названий.

Следующий раздел («Публицистика: о науке и не только») включает научно-популярные статьи, которые отражают эволюцию научных интересов автора, а также яркие и эмоциональные рассказы о выдающихся людях, с которыми ему довелось общаться.

Почти половину книги занимают воспоминания друзей и коллег. Эти свидетельства живой памяти современников говорят о широкой натуре Льва Львовича, многогранности его интересов, об активной жизненной позиции.

Книга прекрасно оформлена, в ней много фотографий из

семейного альбома, приведены документы и библиография трудов Киселева. Такая книга найдет достойное место в ряду литературы, посвященной жизни выдающихся ученых и истории развития отечественной науки.

## Зоология

**Т.Г.Стойко, О.В.Булавкина.** ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ НАЗЕМНЫХ МОЛЛЮСКОВ ЛЕСОСТЕПИ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ПОВОЛЖЬЯ. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 96 с., 17 цв. табл.

Необходимость выхода в свет этого регионального определителя наземных моллюсков обусловлена, в первую очередь, отсутствием современных изданий и малодоступностью книг, вышедших еще во времена СССР. Кроме того, в этих книгах виды наземных моллюсков, характерные для лесостепи правобережного Поволжья, просто теряются среди большого числа кавказских, среднеазиатских и дальневосточных форм. К тому же знания об этой разнообразной и древней группе беспозвоночных животных весьма скудны, поскольку наземные моллюски не пользуются популярностью даже среди зоологов.

Определитель содержит таксономический и экологический обзоры, а также иллюстрированные описания всех известных к настоящему времени моллюсков, обитающих на территории Пензенской, Тамбовской, Ульяновской, Саратовской, Самарской областей и Республики Мордовии. В основу книги легла работа сотрудников Пензенского государственного педагогического университета им.В.Г.Белинского, выполненная при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

# Мозг: наука и искусство

В  
к  
о  
н  
ц  
е  
н  
о  
м  
е  
р  
а

В 2008 г. в Барселоне проходил необычный семинар ESOF (The Euroscience Open Forum), посвященный связи науки и поэзии. Один из его организаторов и активных участников — Давид Жу, профессор теоретической физики Университета Барселоны. Среди мирового научного сообщества он известен своими работами в области термодинамики необратимых процессов, а также как поэт, опубликовавший 16 сборников стихов на каталонском языке. Героями своего яркого выступления на семинаре Жу выбрал две пары: великого ученого Чарлза Дарвина и американскую поэтессу Эмилию Дикинсон, чьи тексты наталкивают нас на размышления о науке и поэзии, о том, что между ними общего, а также всемирно известного нейробиолога Рамон-и-Кахала и художника Сальвадора Дали. Ниже представлен перевод его сообщения на семинаре ESOF.

Д. Жу

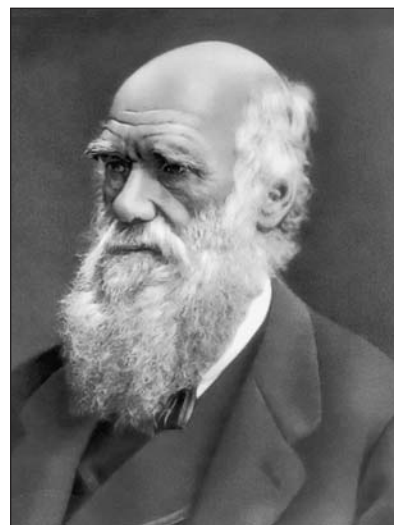
Барселона (Испания)

**М**озг — один из самых загадочных, притягивающих воображение объектов мироздания. Неудивительно, что поэты находят в нем источник раздумий и вдохновения. Мозг играет главную роль в нашей индивидуальности, в творческих способностях, в любви и ссорах, в нашем характере и наших представлениях о мире. Изучать мозг — значит вторгаться в новую невероятно сложную область, внушающую страх, в непроходимые джунгли, в которых то и дело происходят яркие вспышки. Это значит — находить те места, где сосредоточены различные функции мозга и богатство взаимодействия между электрическими импульсами и химическими сигналами, где наследственные функции генов различным образом встречаются с культурными традициями.

В автобиографии **Чарлза Дарвина** есть небольшая, но волнующая страница, касающаяся поэзии. Когда ему было около восьмидесяти, он сожалел, что постепенно утратил интерес к поэзии и музыке, которые доставляли ему удовольствие в юные годы. Здесь уместно про-

цитировать следующий малоизвестный текст:

«Я уже сказал, что за последние 20 или 30 лет в одном отношении мой ум изменился. Примерно до 30 лет и несколько позже разнообразная поэзия, например стихи Милтона, Грея, Байрона, Вордсворта, Кольриджа и Шелли доставляли мне большое удовольствие, и даже будучи школьником я весьма восторгался Шекспиром, особенно его историческими пьесами. Я также уже говорил, что живопись доставляла мне немало, а музыка — огромное наслаждение. Но теперь в течение уже многих лет я не выношу ни строчки поэзии. Недавно я пытался читать Шекспира и нашел его невыносимо скучным. Точно так же я утратил вкус к живописи и музыке. Музыка обычно придает энергию моему мыслительному процессу во время работы вместо того, чтобы доставлять удовольствие... Эта удивительная и прискорбная утрата высших эстетических вкусов кажется мне тем более странной, что книги по истории, биографии и путешествия (независимо от того, содержатся ли в них научные факты), эссе на разные темы кажутся мне столь же интересными, как



Чарлз Дарвин (1809—1882).

и ранее. Кажется, мой ум превратился в машину для перемазывания груды фактов в общие законы. Но почему это привело к атрофии той единственной части мозга, от которой зависят высшие вкусы, я так и не могу постигнуть. Человек с умом, лучше организованным и упорядоченным, чем мой, как я полагаю, не страдал бы от этого, и, если бы я смог прожить мою жизнь заново, я ввел бы за правило читать стихи и слушать музыку по крайней мере раз в неделю. И,

© Жу Д., 2010

может быть, тогда атрофированные теперь части моего мозга, работая, оставались бы активными. Потеря этих вкусов — это потеря чувства счастья, и возможно, она вредна для интеллекта, и, что еще более вероятно, для нравственности, ослабляя эмоциональную часть нашей натуры».

Эта цитата отражает тот факт, что поэзия сама по себе не только источник удовольствия, но также необходимая практика для сбалансированного творческого функционирования мозга и более полного развития нашей любви к жизни. Дарвин даже относит потерю у себя интереса к поэзии скорее к физической атрофии определенной части мозга, чем к временной усталости или душевному отстранению. При чтении этого текста меня удивило то, какую материальную, физическую силу он придает поэзии. Это заставило меня ощутить поэзию почти как составную часть нашего тела. То же самое чувство возникает у меня, когда я читаю стихи вслух, и оно становится ритмом, музыкой, дыханием, эмоцией, которые ускоряют движения нашего тела и воспаляют наш мозг.

С другой стороны, так же, как Дарвин, я спрашиваю себя: до какой степени тот факт, что в течение многих лет мы фокусируем свое внимание на детерминированных сторонах мира (в случае Дарвина — на общих закономерностях жизни), ослабляет наше восприятие разных сторон реальности? Стремятся ли ученые познать только часть реальности и хотя бы, чтобы это знание побуждало их проживать жизнь более полно и глубоко? Хотя ли они жертвовать частью способностей ощущать тонкие различия мира, чтобы продвигаться несколько дальше в своих исследованиях? В любом случае стоит прислушаться к совету Дарвина и побуждать себя с некоторой регулярностью читать немного поэзии особенно близких нам авторов.

Прославленная американская поэтесса **Эмилия Дикинсон**, жившая в одно время с Дарвином, выразила другое толкование мозга. В своем стихотворении «Мозг шире неба» она видит его не как вещество в основе своей материальное, подверженное усталости и атрофии, а как нечто божественное, неосознаваемое, способное к взаимодействию с небом и морем, как пространство огромное, текучее и изменчивое.

Действительно, по своей сложности мозг сравним или даже превосходит известный нам внешний космос. Миллионы галактик взаимодействуют на основе силы тяжести и притяжения расширяющегося пространства. С другой стороны, миллионы нейронов взаимодействуют в различных направлениях благодаря синапсам; кроме того, существует не менее сотни нейромедиаторов. Синапсы, имеющие разную интенсивность, могут образовываться заново или исчезать благодаря эластичности нейронов. Так что сказать, что мозг шире неба, в данном случае не будет преувеличением или метафорой: сеть взаимодействий между нейронами мозга более сложна, чем сеть взаимодействий между галактиками. В чисто пространственных терминах (числах, величинах) наше присутствие в космосе незначительно, но при выражении степени сложности мы можем бросить вызов небу и Вселенной, как предложила Дикинсон в ее стихотворении «Мозг шире неба».

Итак, мы видим Дарвина — ученого, который говорит о материальных свойствах мозга и о роли поэзии в его гармоничной деятельности, и поэтессу Дикинсон, которая говорит о мозге как о месте, в котором происходят изменения при контакте с миром. Дикинсон не проявляла большого интереса к научным свойствам мозга, а Дарвин утратил интерес к поэзии. А теперь поговорим о нейробиологе Сантьяго Рамон-и-



Эмилия Дикинсон (1830—1886).

Кахале, который изучал мозг, и о художнике Сальваторе Дали, который буквально пировал в мире мечты и подсознания. В противоположность двум первым из упомянутых личностей, этих двоих интересовали границы между наукой и искусством. Рамон-и-Кахаль, кроме пространной автобиографии и нескольких томов эссе, опубликовал немало коротких рассказов, а Дали всегда проявлял интерес к науке.

**Сантьяго Рамон-и-Кахаль** родился в Арагоне, а умер в Мадриде. Годы с 1888-го по 1892-й, четыре решающих года в его научной карьере, он провел в Барселоне. В квартире, расположенной на углу улиц Нотариат и Художника Фортуни, неподалеку от улицы Рамбле, где он жил с женой и детьми, он в 1888 г. сделал выдающееся открытие. Он ухаживал за своей тяжело больной дочерью Энрикетой. В часы, пока ребенок спал, он продолжал смотреть в микроскоп. В тот вечер он прицельно использовал модифицированный метод Гольджи и в качестве ткани — фрагмент мозга зародыша цыпленка. Вместо того чтобы, как обычно, увидеть большое черное пятно, в котором нейроны накладывались друг на друга и превращались в спутанную массу, к своей



Сантьяго Рамон-и-Кахаль  
(1852—1934).

огромной радости, он смог рассмотреть тонкие и сложные, похожие на дерево, лабиринты периферии дендритов и разветвления аксонов. Эта неделя стала одной из самых напряженных в его жизни: дорога к славе открылась одновременно со смертью дочери.

Первые свои результаты Рамон-и-Кахаль опубликовал в «Каталонском гистологическом журнале». Он также оплатил из своего кармана публикацию в другом журнале, чтобы результаты появились в печати как можно скорее. На следующий год его результаты были представлены на гистологическом конгрессе в Берлине. А в 1906 г. Рамон-и-Кахаль вместе с Камилло Гольджи получил Нобелевскую премию в области физиологии или медицины.

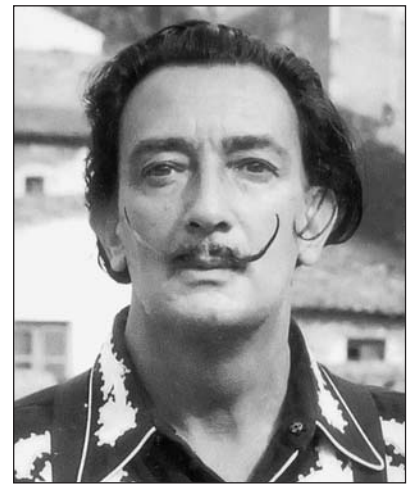
Рамон-и-Кахаль был отличным рисовальщиком. Его наброски до сих пор воспроизводятся в современных книгах по нейробиологии. Удивительные тончайшие разветвления дендритов и аксонов, округлость тела самих клеток изображены в его набросках так, что чувствуются их едва уловимые различия, оцепенение, и в то же время способность к быстрому реагированию и возбуждению.

Меня всегда захватывала мысль, что в то время, как Рамон

делал свои открытия в архитектонике мозга, Гауди конструировал в Барселоне свои первые здания. Гауди был очарован архитектурой Природы, и не только ее орнаментальными формами, но также воздействием ее конструкций, которые он использовал в своих отчаянно смелых проектах. В те годы была выявлена архитектура Природы — костей, стволов деревьев, ветвей, морских раковин у Гауди и нервных комплексов разных областей мозга у Кахала, и все это продолжало воздействовать на архитектуру нашего города и на начало построения архитектоники мозга.

Теперь мы знаем, что архитектоника мозга не статична, она полна динамики. В настоящее время метод воспроизведения образов с помощью ядерно-магнитного резонанса предлагает удивительный способ проникновения в суть процессов, связанных с пониманием и воспроизведением речи и музыки. Некоторые исследования выявили активность мозга по отношению к поэзии. Пару лет назад шотландские физиологи изучали движение глаз во время чтения поэзии и прозы и увидели, что поэзия генерирует большие движения глаз, больше возвратов назад и повторного считывания, чем проза. В одних случаях это свидетельствует о большей сложности текста, в других — о большей степени интенсивности и о более сильных и напряженных чувствах. Было бы интересно пронаблюдать эти результаты и выяснить, как комбинированное воздействие рифмы и ритма увеличивает интенсивность восприятия и как это воздействует на способность запоминания текста.

**Сальвадор Дали** один из наиболее всесторонних и всемирно известных каталонских художников. Он родился в Фигерасе, где теперь находится Музей Дали, один из наиболее часто посещаемых в Испании. Его картины удивительны во



Сальвадор Дали (1904—1989).

многих отношениях, их с любопытством рассматривает множество людей по всему миру. Комбинация глубокого реализма в деталях с совершенно неожиданной конструкцией композиции привлекает внимание, возможно, именно благодаря особому шоку от восприятия целой картины и ее частей. Кроме того, что Дали был художником, он написал также много текстов на испанском, французском и английском языках, которые в год его столетия были собраны в четыре объемных тома. Эти тексты тоже удивительны и демонстрируют поразительную свежесть, замечательную внезапную провокацию и постоянный вкус к неожиданностям и парадоксам: «Страсти по Дали» и «Дневник гения» — вот два из его символических названий.

Во многих эссе и картинах Дали ярко проявляется интерес к научным знаниям. Он постоянно ссылается на теорию относительности Эйнштейна, часто упоминает квантовую физику, математику (в особенности геометрию), молекулярную биологию и ядерные взрывы. По словам Дали, «нет ничего более царственного, величественного, чем молекула ДНК»; благодаря ей «наша внутренняя сущность обретает такую силу,



что может исправить сущность внешнего мира». Основой для таких тем часто служили место его рождения, Эмпорда, или каменные холмы и полные магической силы каменные утесы Кап де Кре со следами выветривания, расположенные около Порта Легат и Кадаке. Сильнейшее впечатление произвели на Дали работы Фрейда. Они помогли ему превратить свои непристойные и извращенные видения в мотивы живописи (сюрреалистический период его творчества). После Второй мировой войны, уже используя мотивы подсознательного,

он начал более классический период творчества, когда стал комбинировать религиозные и научные темы.

\* \* \*

Дарвин, Дикинсон, Рамон-и-Кахаль и Дали — четыре взгляда на интеллект и искусство, на физические и функциональные свойства мозга как источника вдохновения. Сегодня наука достигла нового понимания в шести больших областях реальности: это космос, элементарные частицы, наносистемы физического мира, геном, мозг и биологический мир. Наша по-

зиция в этих областях формируется не только благодаря знанию и действию, но также благодаря способности чувствовать. Космические и генетические темы сегодня присутствуют в общественной жизни, их используют в политике, экономике, культуре. Поэзия играет важнейшую роль на этом новом культурном рубеже: она должна встретить вызов и быть способной выразить беспокойство и надежды нашего времени со всем напряжением эмоций и силой знания. ■

© Перевод **А. Михалевич**

# ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь

**Е.А. КУДРЯШОВА**

Научные редакторы

**О.О. АСТАХОВА**

**Л.П. БЕЛЯНОВА**

**М.Ю. ЗУБРЕВА**

**Г.В. КОРОТКЕВИЧ**

**К.Л. СОРОКИНА**

**Н.В. УЛЬЯНОВА**

**Н.В. УСПЕНСКАЯ**

**О.И. ШУТОВА**

**С.В. ЧУДОВ**

Литературный редактор

**Е.Е. ЖУКОВА**

Художественный редактор

**Т.К. ТАКТАШОВА**

Заведующая редакцией

**И.Ф. АЛЕКСАНДРОВА**

Младший редактор

**Г.С. ДОРОХОВА**

Перевод:

**С.В. ЧУДОВ**

Набор:

**Е.Е. ЖУКОВА**

Корректоры:

**М.В. КУТКИНА**

**Л.М. ФЕДОРОВА**

Графика, верстка:

**А.В. АЛЕКСАНДРОВА**

Свидетельство о регистрации  
№1202 от 13.12.90

Учредитель:

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

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

Подписано в печать 11.06.2010  
Формат 60×88 1/8  
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,  
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2  
Заказ 407  
Набрано и сверстано в редакции

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