

ПРИРОДА

2000 9



Главный редактор академик **А.Ф.АНДРЕЕВ**

Первый заместитель главного редактора
доктор физико-математических наук **А.В.БЯЛКО**

Заместители главного редактора:

доктор физико-математических наук **А.А.КОМАР** (физика),

доктор биологических наук **А.К.СКВОРЦОВ** (биология),

доктор геолого-минералогических наук **А.А.ЯРОШЕВСКИЙ** (науки о Земле)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Доктор геолого-минералогических наук **С.В.АПЛОНОВ** (геофизика),
О.О.АСТАХОВА (редактор отдела биологии и медицины), доктор геолого-минералогических наук **А.Т.БАЗИЛЕВСКИЙ** (планетология), доктор геолого-минералогических наук **И.А.БАСОВ** (геология), кандидат химических наук **Л.П.БЕЛЯНОВА** (редактор отдела экологии и химии), кандидат технических наук **В.П.БОРИСОВ** (история науки), член-корреспондент РАН **В.Б.БРАГИНСКИЙ** (физика), доктор физико-математических наук **А.Н.ВАСИЛЬЕВ** (физика), доктор географических наук **А.А.ВЕЛИЧКО** (география), академик **М.Е.ВИНОГРАДОВ** (биоокеанология), академик РАН **А.И.ВОРОБЬЕВ** (медицина), член-корреспондент РАН **С.С.ГЕРШТЕЙН** (физика), доктор биологических наук **А.М.ГИЛЯРОВ** (экология), академик **Г.С.ГОЛИЦЫН** (физика атмосферы), кандидат физико-математических наук **Ю.К.ДЖИКАЕВ** (ответственный секретарь), академик **Г.В.ДОБРОВОЛЬСКИЙ** (почвоведение), академик **А.М.ДЫХНЕ** (физика), академик **Г.А.ЗАВАРЗИН** (микробиология), академик **Ю.А.ЗОЛОТОВ** (химия), **М.Ю.ЗУБРЕВА** (редактор отдела географии и океанологии), академик РАН **В.И.ИВАНОВ** (генетика), академик **В.Т.ИВАНОВ** (биоорганическая химия), академик **В.А.КАБАНОВ** (химия), член-корреспондент РАН **М.В.КОВАЛЬЧУК** (физика), **Г.В.КОРОТКЕВИЧ** (редактор отдела научной информации), академик **Н.П.ЛАВЕРОВ** (геология), член-корреспондент РАН **В.В.МАЛАХОВ** (зоология), доктор биологических наук **К.Н.НЕСИС** (биология), член-корреспондент РАН **Л.В.РОЗЕНШТРАУХ** (физиология), **П.Е.РУБИНИН** (история науки), член-корреспондент РАН **А.Н.САХАРОВ** (история), академик **В.П.СКУЛАЧЕВ** (биохимия), кандидат физико-математических наук **К.Л.СОРОКИНА** (редактор отдела физики и математики), член-корреспондент РАН **Н.П.ТАРАСОВА** (физическая химия), **Н.В.УЛЬЯНОВА** (редактор отдела геологии, геофизики и геохимии), **Н.В.УСПЕНСКАЯ** (редактор отдела истории естествознания и публицистики), академик **Л.Д.ФАДДЕЕВ** (математика), член-корреспондент РАН **М.А.ФЕДОНКИН** (палеонтология), доктор биологических наук **С.Э.ШНОЛЬ** (биофизика), **О.И.ШУТОВА** (редактор отдела охраны природы), член-корреспондент РАН **А.М.ЧЕРЕПАЩУК** (астрономия, астрофизика).

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Река Актура, берущая начало из ледников Актру (Алтай).

См. в номере: **Рудой А.Н.** *Ледниковые катастрофы в новейшей истории Земли.*

Фото автора

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Исполнитель тувинского горлового пения хоомей в традиционном костюме.

См. в номере: **Петрова Е.Г., Петров А.В.** *Убсунурская котловина: путешествие в пространстве и времени*

Фото Е.И.Усова



В НОМЕРЕ:

3 Федонкин М.А.

Холодная зора животной жизни

Точного ответа на вопрос, когда возникли первые многоклеточные животные, пока нет. Корни их филогенетического древа уходят в криоген – длительную эру обширных оледенений.

12 Шибков А.А., Желтов М.А., Королев А.А.

Собственное электромагнитное излучение растущего льда

Что может быть привычнее воды и льда? Но как объекты исследования они таят немало сюрпризов. Один из них – излучение радиопульсов при быстрой кристаллизации.

21 Ануфриев Г.С., Болтенков Б.С.

Космическая пыль в Океане

Океанические осадки по сути – запись последних 50 млн лет развития Земли. Чтобы «прочитать» эту информацию, был предложен метод определения возраста осадочных пород, который основан на измерении концентрации космической пыли, выпадающей на Землю.

Лекторий

29 Болдырев А.А.

Биологические пределы жизнедеятельности

Современный человек живет значительно дольше, чем его первобытные предки, но до биологического предела нам еще далеко. Изучая механизмы старения на животных, мы пытаемся понять, как можно продлить жизнь человека.

36 Рудой А.Н.

Ледниковые катастрофы в новейшей истории Земли

Только к концу XX в. стала понятной роль гигантских паводков, обусловленных позднечетвертичными оледенениями, в формировании лица нашей планеты.

Вести из экспедиций

46 Петрова Е.Г., Петров А.В.

Убсунурская котловина: путешествие в пространстве и времени

52 Ранов В.А., Лаухин С.А.

Стоянка на пути миграции среднепалеолитического человека из Леванта в Сибирь

Археологические находки на стоянке Худжи в Таджикистане проливают свет на проблему миграции человека в среднем палеолите.

61 Даревский И.С., Гречко В.В., Куприянова Л.А.

Ящерицы, размножающиеся без самцов

Гипотезу, согласно которой эти девственно размножающиеся скальные ящерицы образовались в результате естественной межвидовой гибридизации, наконец удалось подтвердить благодаря современным методам молекулярной систематики и цитогенетики.

69 Несис К.Н.

Живоглот с самозаклеивающимся ртом

72 Рэль Дж.С., Уоррен М.Дж.

Пурпурная тайна

(Рассказ о наследственности венценосных особ и нарушениях обмена веществ)

Дамоклов меч порфирии – тяжелого психосоматического недуга – не только некогда нависал, но и продолжает нависать над королевскими династиями Европы, накладывая отпечаток на развитие исторических событий.

Новости науки

81

Nb Бюджет американской науки на 2001 г. (81). – Откуда небесный Краб черпает энергию? (81). – Отклонение от оптимальных условий дает парадоксальный эффект (82). – Экспериментальная иммунотерапия метастазов (82). – Быстрое формирование генетической устойчивости к токсичной водоросли. Несис К.Н. (83). – В поисках предвестников землетрясения (84). – «Супруги» Лаки-Лаки и Перемпуан выясняют отношения (84). – У вулкана Мацама «длинные руки» (84). – Климатические изменения в Австралии (85). – Ниагарский водопад относительно молод (85). – Первоамериканец из Прибайкалья (86). – Финикийские суда найдены на больших глубинах (86).
Коротко (28, 51)

Рецензии

87 Цицин Ф.А.

История отечественной астрономии: от мира Перуна до Вселенной Линде

Новые книги

91

Встречи с забытым

92 Соловьева Б.А.

Александр Михайлович Сибиряков

CONTENTS:

3 Fedenkin M.A.

The Cold Dawn of Animal Life

There is so far no precise answer to the question: When did the first multicellular animals originate? Their phylogenetic tree is rooted in the Cryogenic Period – the long-lasting era of extensive glaciations.

12 Shibkov A.A., Zholtov M.A., and Kerelev A.A.

Intrinsic Electromagnetic Radiation of Growing Ice

What can be more usual than water and ice? Yet as study objects, they conceal a fair amount of surprises. One of them is the radiation of radio pulses during rapid crystallization.

21 Anufriev G.S. and Boltenkov B.S.

Cosmic Dust in the Ocean

Oceanic sediments are in fact a record of the past 50 million years of the Earth's evolution. In order to read this information, scientists proposed a method for determining the age of sedimentary rocks based on measuring the concentration of cosmic dust falling onto the Earth.

Lectures

29 Boldyrev A.A.

Biological Limits of Vital Activity

Modern humans live much longer than their primitive ancestors, yet we are a long way to go toward reaching our biological limit. By studying the mechanisms of aging on animals, we are trying to understand how human life can be extended.

36 Rudoi A.N.

Glacial Catastrophes in the Earth's Recent History

It was only at the end of the 20th century that researchers understood the role of giant floods due to Late Quaternary glaciations in shaping the face of our planet.

News from Expeditions

46 Petrova E.G. and Petrov A.V.

The Ubsunur Basin: A Travel in Space and Time

52 Ranov V.A. and Laukhin S.A.

A Camp along the Path of Middle Paleolithic Humans Migrating from Levant to Siberia
Archaeological finds made at the Khudzhi Camp in Tajikistan shed some light on human migration in the middle Paleolithic.

61 Darevsky I.S., Grechko V.V., and Kupriyanova L.A.

Lizards Reproducing without Males

The hypothesis suggesting that these immaculately reproducing rock lizards originated through natural interspecific hybridization has finally been confirmed by modern methods of molecular systematics and cytogenetics.

69 Nesis K.N.

A Swallower with a Self-sealing Mouth

72 Röhl J.C., Warren M.J.

Purple Secret (A Story of Royal Inheritance and Metabolic Disorder)

Porphyria, a severe psychosomatic disease, is a sword of Damocles that not only used to hang but is still hanging over royal dynasties of Europe, leaving an imprint on historic events.

Science News

81

Nb The 2001 Budget of US Science (81). – Where the Celestial Crab Draws Energy (81). – Deviation from the Optimum Conditions Produces a Paradoxical Effect (82). – Experimental Immunotherapy of Metastases (82). – Rapid Development of Genetic Resistivity to a Toxic Alga. Nesis K.N. (83). – In Search of Earthquake Precursors (84). – The «Spouses» Lucky-Lucky and Perempuan Sorting out Their Relationship (84). – Matsama Volcano Has a Long Reach (84). – Climate Change in Australia (85). – The Niagara Falls Are Relatively Young (85). – The First American from the Baikal Region (86). – Phoenician Ships Found at Great Depths (86). In Brief (28, 51)

Book Reviews

87 Tsitsin F.A.

History of Russian Astronomy: From Perun's World to Linde's Universe

New Books

91

Encounters with the Forgotten

92 Solovyeva B.A.

Aleksandr Mikhailovich Sibiryakov

Холодная заря животной жизни

М.А.Федонкин

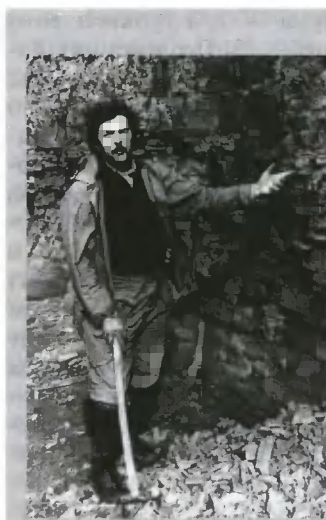
Прошлое не исчезает, оно даже никогда не проходит.

У.Фолкнер

Происхождение многоклеточных животных остается одной из наиболее сложных проблем естествознания. Как и появление самой жизни, эта тайна Природы волнует поколения ученых. Такой глубокий интерес вполне объясним: многое в сверхсложном мире живого стало бы понятнее, если бы мы догадались, когда, где и почему сформировались те или иные типы физиологии, жизненных форм и экосистем.

Истоки основных биохимических механизмов функционирования живого вещества находятся в архее и раннем протерозое, отделенных от нас миллиардами лет. На протяжении большей части истории нашей планеты условия среды существенно отличались от нынешних — соответственно иными могли быть биогеохимические связи и типы физиологии. Тем не менее мы прочно связаны с далеким прошлым: многие типы биохимических реакций протекают ныне в тех же физико-химических условиях, что и в архее, с тем лишь отличием, что среды эти глубоко запряты в недра Земли или внутри самих организмов — подальше от кислорода.

© М.А.Федонкин



Михаил Александрович Федонкин, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией докембрийских организмов Палеонтологического института РАН. Основные научные интересы связаны с ранней эволюцией биосферы, происхождением многоклеточных животных и стратиграфией докембрия.

Высокий уровень дифференциации животного мира венда указывает на более древние корни метазоа¹. Об этом же говорят и пока редкие находки более древних, рифейских беспозвоночных. Данные молекулярной

филогенетики и модель «молекулярных часов» также свидетельствуют о довендском происхождении многоклеточных животных, хотя в зависимости от метода и класса анализируемых молекул время появления метазоа определяется довольно широко — от 1500 до 700 млн лет назад. Согласно геологической летописи, физико-химические пара-

¹ Соколов Б.С. Вендский период в истории Земли // Природа. 1984. №12. С.3—18; Он же. Очерки становления венда. М., 1998.

метры биосферы в начале и в конце этого интервала существенно различались.

«Когда» значит «где»

Вопрос о том, когда возникли первые многоклеточные, — чрезвычайно важен, поскольку он тесно связан с экологическим аспектом происхождения сложных организмов. Дело в том, что в позднем протерозое в биосфере произошли кардинальные изменения, и потому для разных моментов геологической истории нам пришлось бы строить различные сценарии происхождения животных. Таким образом, вопрос «когда?» превращается в вопрос «где и в каких условиях возникли первые животные?» Но вернемся к хронологии.

Степень дифференциации животного мира венда (от губок до членистоногих, плюс несколько групп неясного систематического положения) показывает, что корни беспозвоночных уходят в историю протерозоя. Как далеко? Находки более древних окаменелостей, которые интерпретируются как остатки беспозвоночных, пока еще очень редки, но чрезвычайно важны. В отложениях верхнего рифея России и Китая² обнаружены окаменелости, напоминающие современных кольчатых червей, хотя их можно сравнить и с тонкостенными хитиновыми трубками ныне живущих сцифоидных полипов. Эти прямые свидетельства животной жизни, существовавшей более 700 млн лет назад, манят палеозоологов в еще неведомые глубины прошлого Земли. Успех поиска древнейших остатков животных во многом зависит от того, на-

сколько точно мы представляем себе условия их обитания и фоссилизации.

В попытке определить момент появления метазоа предложено несколько оригинальных подходов. Так, Дж.Валентайн полагает, что для решения этой задачи можно использовать гипотезу Дж.Боннера о том, что критерием сложности организма служит количество типов клеток в нем³. Действительно, современные млекопитающие имеют более 200 типов клеток, моллюски и членистоногие — более 50, плоские черви и гребневики — 20, кораллы и медузы — 7, а губки и того меньше — 5. По мнению Валентайна, наиболее ранние следы ползания, около 560 млн лет назад, оставили вендские беспозвоночные, у которых было не менее 30 типов клеток. Ретроспективная экстраполяция от современного человека (210 типов клеток) к тем относительно простым животным приводит к выводу о том, что история метазоа в докембрии очень коротка — первые многоклеточные животные появились приблизительно 680 млн лет назад.

Похожий результат получен Дж.Сепкоски, который анализировал динамику биоразнообразия в венде и кембрии⁴. Ранняя ископаемая летопись животных демонстрирует экспонентный рост разнообразия, особенно в кембрии, что также говорит о краткой истории животных. Однако «эволюционный взрыв», который мы наблюдаем в кембрии, в огромной степени связан с появлением в животном царстве минерального скелета —

шансы сохраниться в ископаемой летописи резко возросли. Многие палеонтологи полагают, что кембрийская летопись — в большей степени «взрыв изобилия окаменелостей», чем эволюционное событие.

Резкий вызов выводам Валентайна и Сепкоски последовал со стороны молекулярной биологии. Согласно модели «молекулярных часов», основанной на предположении о постоянной скорости изменения генома в течение длительного времени, многоклеточные животные могли возникнуть довольно рано. Так, Г.Рэй с соавторами находит весьма веские доказательства в пользу очень раннего происхождения многоклеточных животных — не позднее 1.5 млрд лет назад⁵. Сравнительный анализ семи генов, кодирующих такие белки, как глобины, показал, что эволюционные ветви беспозвоночных и хордовых разошлись около 1 млрд лет назад. Первичноротые отделились от линии, ведущей к хордовым, задолго до иглокожих — около 1200 млн лет назад. Все это говорит о продолжительной истории становления основных типов животных и противоречит гипотезе о кембрийском «эволюционном взрыве», начавшемся 544 млн лет назад и якобы давшем начало современным типам животных. Следует заметить, что эти авторы датируют лишь время расхождения генетических линий основных типов беспозвоночных, а морфологические черты, характеризующие современных животных, например скелет или целом, могли возникнуть много позже.

О весьма длительной истории животного мира в протерозое говорят и другие специ-

² Гниловская М. Б. // ДАН. 1998. Т. 359. № 3. С. 369—372; Sun Weiguo, Wang Guixiang and Zhou Benhe // Precambrian Research. 1986. V. 31. P. 377—403.

³ Valentine J. W. The Cambrian explosion / Bengtson S. Early Life on Earth. Nobel Symposium № 84. N.-Y., 1994. P. 401—411.

⁴ Sepkoski J. J. Jr. Proterozoic-Early Cambrian diversification of metazoans and metaphytes // The Proterozoic Biosphere. A Multidisciplinary Approach / Eds J. W. Schopf, C. Klein. Cambridge, 1992. P. 553—561.

⁵ Wray G. A., Levinton J. S., Shapiro L. H. // Science. 1996. V. 274. P. 568—573.

алисты, использующие метод «молекулярных часов»⁶. Явный конфликт этой гипотезы с ископаемой летописью стимулировал изучение более представительного материала: так, Ф.Аяла с коллегами, проанализировав 18 генов, кодирующих белки, заключили, что первичноротые (моллюски, кольчатые черви, членистоногие) отделились от вторичноротых (иглокожих и хордовых) около 670 млн лет назад, а хордовые и иглокожие на 70 млн лет позже. Согласно этой модели, первые многоклеточные животные появились около 700 млн лет назад, т.е. за 155 млн лет до начала кембрийского периода⁷. Единственный способ проверить надежность методов молекулярной филогенетики — вернуться к ископаемой летописи.

Слово палеонтологам

Разнообразие филогенетических деревьев, построенных зоологами и молекулярными биологами, свидетельствует об отсутствии критерия надежности реконструкций внутри каждой из упомянутых дисциплин. Вот почему взгляды неонтологов обращаются к палеонтологии, особенно к ископаемой летописи неопротерозоя (древнее 545 млн лет), где сохранились остатки наиболее древних животных. Сомнения по поводу достоверности исторических реконструкций на основе современного материала понятны: миллионы видов современных организмов составляют лишь ничтожную долю былой жизни на Земле. По оценкам палеонтологов, на протяжении более полумиллиарда

лет позднейшей истории биосферы вымерло 99% видов животных. Среди них не только виды, но и целые классы и даже типы животных. Еще недавно типы животных казались «вечными таксонами», поскольку большая часть их известна с кембрия, первого периода фанерозоя, начавшегося около 545 млн лет назад. Именно фанерозой, включающий палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую эры, всегда был объектом исследования классической палеонтологии.

Истинным прорывом в прошлое стало открытие докембрийской фауны — крупных, подчас гигантских беспозвоночных, природа которых вызывает сейчас столько споров⁸. За последние десятилетия в составе кембрийской и более древней, вендской, фауны обнаружили животных, которых нельзя отнести ни к одному из ныне живущих типов. Несмотря на внутреннее психологическое сопротивление, первооткрывателям этих форм пришлось констатировать, что на раннем этапе животного мира существовали целые типы беспозвоночных, не нашедших продолжения. Их разнообразие могло превосходить современное, хотя видов было не так много. Как изменилась бы картина происхождения и ранней эволюции метазоа, если бы данные об эмбриональном развитии или геноме этих монстров можно было вовлечь в реконструкцию филогенеза животных?

Ряд видов вендских животных при всей их необычности представляет предковые линии кембрийских и даже ныне живущих беспозвоночных. Другие, четко обособленные группы не находят места среди современных типов. Несомненно тканевая организа-

ция, сложность строения этих организмов говорят о том, что мы имеем дело с группами весьма продвинутых, специализированных животных, которые, однако, вымерли уже в венде, т.е. более чем 545 млн лет назад. Возможно, физиологически эти беспозвоночные сформировались в условиях более древней биосферы и не смогли пережить радикальных изменений, произошедших в конце протерозоя, особенно в венде. Какие же условия царили на Земле до начала вендского периода?

Парадоксальность актуализма или куда девались строматолиты

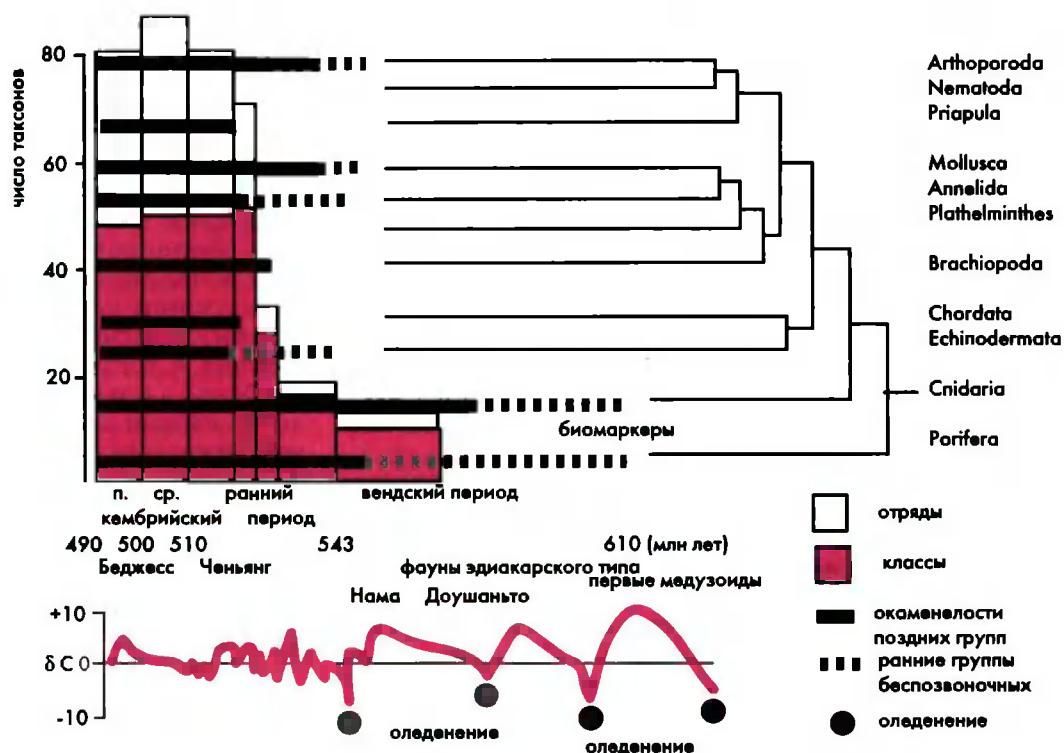
Актуалистические подходы к реконструкции докембрийских сред обитания зачастую приводят к неактуалистическим моделям биосферы — слишком велик интервал времени, отделяющий нас от архея и протерозоя. Примером может служить сравнение древних строматолитов и современных экосистем, контролируемых цианобактериями в себкхе или в лагунах с повышенной соленостью аридных зон. Подобные экосистемы, занимающие ныне весьма ограниченное пространство, в докембрии, напротив, были широко распространены. Этот пример ярко демонстрирует парадоксальность актуализма как метода познания геологического прошлого.

Исследователи строматолитов, тонкослоистых карбонатных структур, сформированных цианобактериальными сообществами, давно подметили резкий спад разнообразия и количества этих образований после 1 млрд лет назад. Это явление рассматривали как результат деятельности ранних животных, которые выедали бактериальные дер-

⁶ Bromham L., Rambaut A., Fordey R., Cooper A., Penny D. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1998. V.95. №21. P.12386—12389.

⁷ Ayala F. J., Zhetsky A., Ayala F. J. // Ibid. 1998. V.95. №2. P.606—611.

⁸ Федонкин М.А. Загадки вендской фауны // Природа. 1989. №8. С.59—72.



Рост разнообразия отрядов и классов беспозвоночных в ископаемой летописи венда и раннего кембрия отражает лишь часть более сложной истории животных, раскрытой методами молекулярной филогенетики (дендрограмма справа). Изотопная кривая углерода показывает время и масштабность оледенений в течение ранней истории животного мира (Knoll A.H., Carroll S.B. 1999, с изменениями).

новинки и нарушали стабильность субстрата, необходимую для формирования строматолитов⁹. Прямые палеонтологические данные в пользу такой гипотезы отсутствуют — ни следов, ни остатков животных в строматолитовых отложениях докембрия пока не обнаружено. По чисто экологическим причинам вероятность таких находок небольшая.

Существует определенный антагонизм между строматолитами и животными: там, где много строматолитов, мало или вовсе нет животных. Даже на дне, густо заселен-

ном животными, под островками бактериальных матов их нет из-за отсутствия кислорода. В геологической истории фанерозоя строматолиты нередко появляются в период экологических кризисов и массовых вымираний животных. Строматолиты — «знак беды», признак дестабилизации сложных экосистем. Антагонизм устойчивых цианобактериальных сообществ и беспозвоночных заставляет нас отказаться от первой гипотезы и искать другие причины упадка строматолитов.

И.Н.Крылов, один из зачинателей палеонтологии докембрия, предположил, что роль строматолитов резко

уменьшилась в результате угнетения цианобактериальных сообществ свободным кислородом, концентрация которого к концу протерозоя значительно выросла¹⁰. Можно сказать, что это было самоуничтожение строматолитов. Действительно, весь кислород на планете — биогенный. В архее и протерозое цианобактерии благодаря фотосинтезу произвели огромный объем кислорода. Значительная его часть ушла на окисление железа и некоторых других металлов — в результате образовались месторождения осадочных руд. После того как

⁹Awramik S.M. // Science. 1971. V.174. P.825—827.

¹⁰Крылов И.Н. Древнейшие следы жизни // Природа. 1985. №9. С.68—76.

основная часть железа выпала в осадок, в атмосфере и гидросфере стал накапливаться свободный кислород. Таким образом, цианобактерии «отравили» атмосферу планеты продуктом жизнедеятельности и заплатились своей доминирующей ролью в мелководных морских экосистемах. По словам Крылова, это была первая глобальная экологическая катастрофа. Однако «винить» только строматолитовые бактериальные сообщества в самоуничтожении было бы неверно: в протерозое все возрастающую роль в производстве кислорода стали играть эвкалириотные водоросли.

Недавно М.А.Семихатов и М.Е.Раабен опубликовали серию статей, в которых они проанализировали мировые данные по строматолитам архея и протерозоя и установили, что за период 3.8–0.545 млрд лет на фоне растущего обилия и разнообразия строматолитов было три спада¹¹. Последний из них, оказавшийся фатальным, начался около 850 млн лет назад и совпал с началом длительной ледниковой эры. По мнению авторов, именно климатический фактор послужил причиной исчезновения строматолитовых сообществ.

По мере роста концентрации свободного кислорода в атмосфере протерозойской планеты уменьшалось содержание углекислого газа. В результате снижалась скорость накопления биогенных карбонатных осадков, в том числе — строматолитов. Угнетающе действовало на карбонатную биоминерализацию и длительное похолодание, возможно, связанное с уменьшением парникового эффекта атмосферы. Биосфера остывала.

¹¹ Семихатов М. А., Раабен М. Е. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1994. Т.2. №6. С.10–32; Они же. // Там же. 1996. Т.4. №1. С.26–54.

Эра великих холодов

На протяжении большей части своей истории Земля не испытывала оледенений: ранняя биосфера была теплой, если не горячей. Первый ледниковый период зафиксирован геологами 2.2 млрд лет назад. За ним следовал длительный период теплой биосферы вплоть до неопротерозоя, а начиная с 750 млн лет назад в течение 200 млн лет прошла череда мощных покровных оледенений (отмечено четыре длительных ледниковых периода, но, возможно, их было больше)¹². Масштабность этих событий потрясает. Льды достигали уровня моря даже на континентах, расположенных вблизи экватора, о чем говорят палеогеографические реконструкции, основанные на анализе остаточной намагниченности горных пород¹³.

В последние годы получены дополнительные данные, показывающие поистине глобальный масштаб неопротерозойских оледенений. Изотопная летопись углерода из карбонатных отложений, накопившихся в ледниковую эру, демонстрирует негативные аномалии чудовищной амплитуды. Подобного не наблюдалось ни в течение предшествующих 1.2 млрд лет, ни в ходе всей последующей геологической истории.

Сейчас, когда гипотеза об оледеневшей Земле обрела черты научной сенсации, интенсивно обсуждается поведение биосферы. Полагают, что каждое из оледенений могло длиться от 4 млн до 30 млн лет. Тогда почти двухкилометровый слой льда покрывал

континенты и мировой океан. В водах океана на миллионы лет резко сокращалась биологическая продуктивность (от фотосинтезирующего планктона и далее по пищевой цепи) — обширные льды блокировали солнечный свет. Оледенения заканчивались катастрофически быстро, когда благодаря наземному вулканизму в атмосфере повышалось содержание углекислого газа (в триста раз более его современного уровня).

Крайняя смелость этой гипотезы не означает ее несостоятельности. Она объясняет ранее непонятные явления, например такую давнюю загадку, как природа доломитов, обычно перекрывающих ледниковые отложения. Появление сразу после оледенения доломитов ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), характерных для тепловодных карбонатных бассейнов низких широт, вызывало много споров. Полагают следующее: как только концентрация углекислого газа в атмосфере достигала критического уровня, холодная биосфера довольно быстро теплела. Океан освобождался ото льда и поглощал из атмосферы гигантские объемы углекислого газа, что вызывало осаждение доломита. В рамках этой гипотезы становится понятным и очень позднее, «возвратное» появление полосчатых железных руд, характерных для более древних эпох позднего архея и раннего протерозоя (максимум их накопления был 2.5 млрд лет назад). Покрытый льдом океан быстро терял кислород и обогащался железом за счет подводных гидротермальных источников. Освобождение океана ото льда и приток кислорода в результате возрастающей активности фотосинтезирующих организмов привели к окислению и осаждению железа.

Причины столь глубокого и длительного похолодания на планете не вполне ясны. Самая

¹² Kaufman A.J., Knoll A.H., Narbonne G.M. // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 1997. V.94. №13. P.6600–6605; Kennedy M.J., Runnegar B., Prave A.R., Hoffmann K.-H., Arthur M.A. // Geology. 1998. V.26. №12. P.1057–1192.

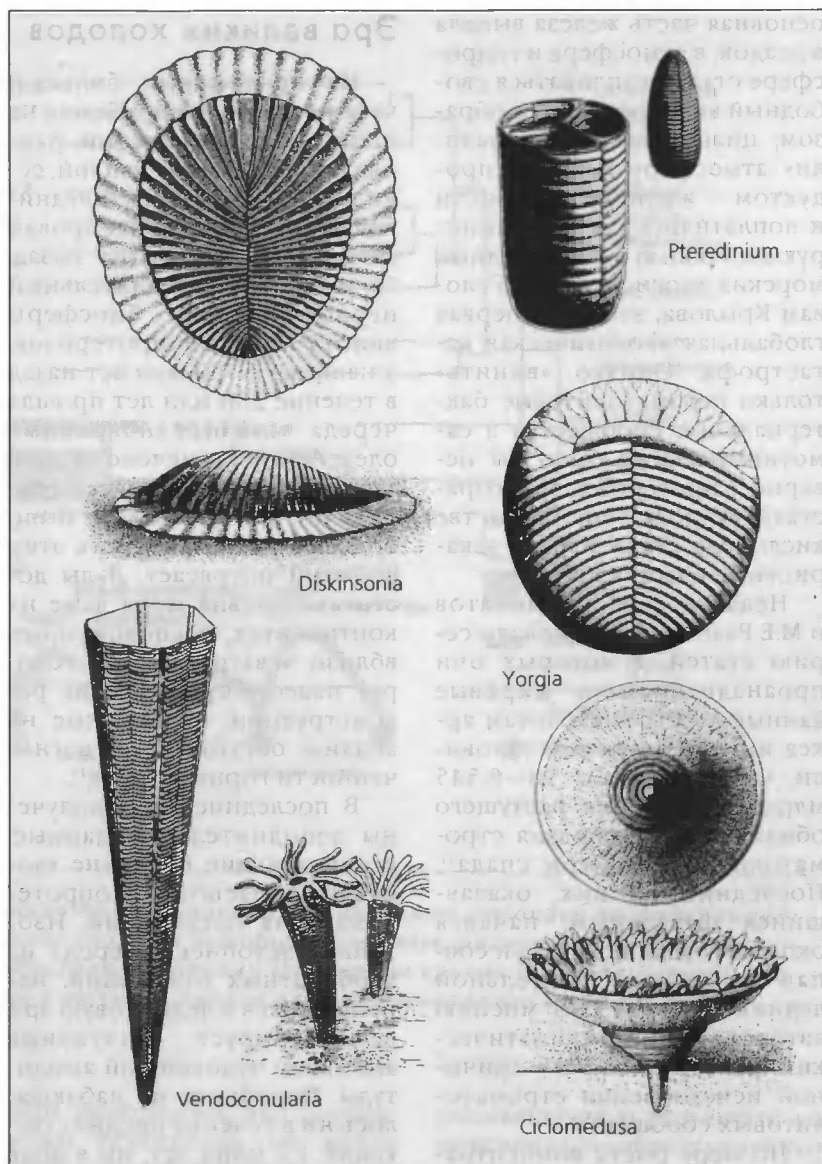
¹³ Чумаков Н.М. Климатический парадокс позднего докембрия // Природа. 1992. №4. С.34–41.

распространенная из предложенных гипотез связывает похолодание со снижением парникового эффекта атмосферы: фотосинтезирующие организмы поглотили гигантский объем углекислого газа, а захоронение биогенного углерода на обширных и стабильных континентах надолго выводило его из круговорота. Недавно появилось предположение о том, что во время позднепротерозойских оледенений наклон оси вращения Земли к плоскости ее орбиты вокруг Солнца составлял менее 36° (против нынешних 66.5°) и потому самыми холодными оказались экваториальные районы, а более теплыми — полярные области. Такая гипотеза требует объяснения механизма столь быстрых и периодических изменений наклона оси¹⁴. Как видим, споры идут лишь о масштабности оледенений, а в том, что в интервале 750—545 млн лет назад было несколько ледниковых периодов, сомнений нет.

Массовому расселению вендской фауны непосредственно предшествовало самое обширное Варангерское оледенение. Какую роль сыграли оледенения в эволюции многоклеточных организмов? Как они смогли пережить эру великих холодов? Прежде чем рассматривать этот вопрос, обратимся к наиболее древней части ископаемой летописи животных — вендской фауне.

Признаки холодноводности вендской фауны

Поддавляющее большинство местонахождений вендских животных обнаружено в обломочных породах (песчанике, алевролите, глине), которые накапливались в условиях

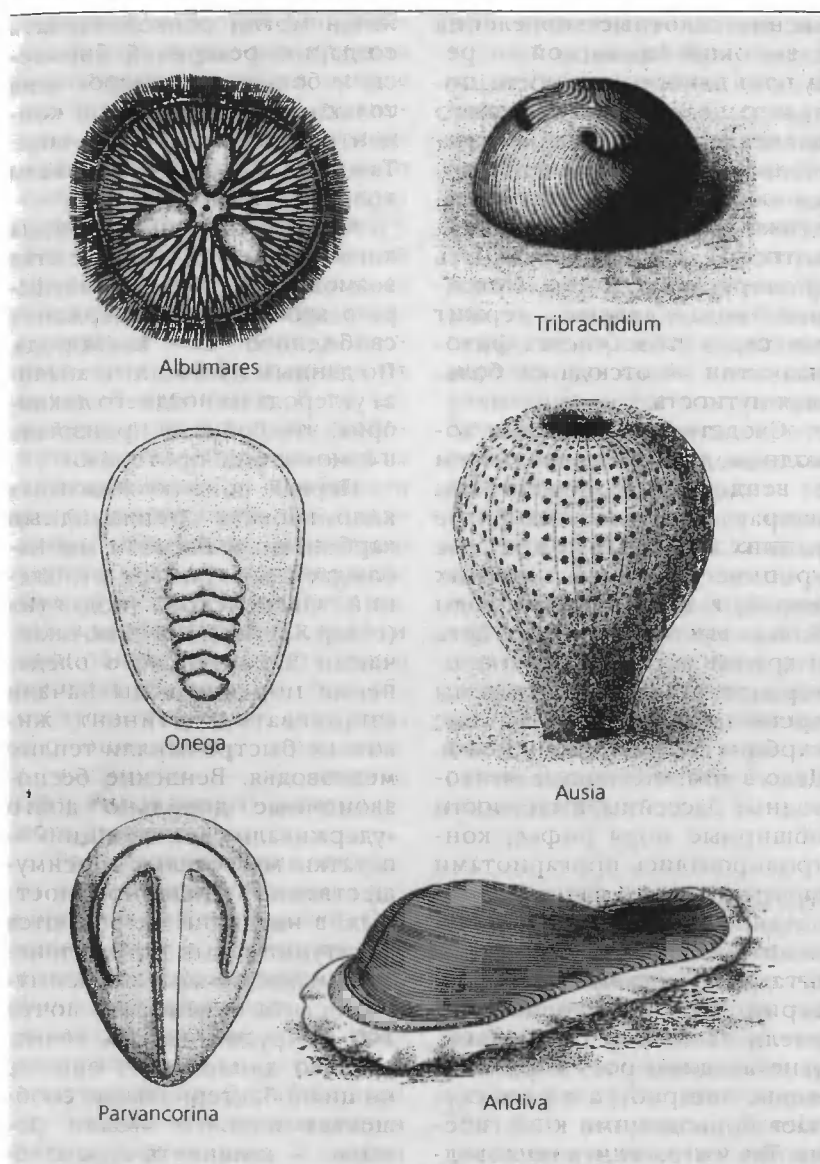


Реконструкция древнейших беспозвоночных, населявших холодноводные бассейны вендского периода после крупнейшего Варангерского оледенения около 600 млн лет назад.

умеренного или даже холодного климата. Известны находки, хотя и редких остатков метазоа, даже между слоями тиллитов — ледниковых отложений. Вендские морские бассейны, населенные животными, находились вне карбонатного пояса планеты. Сейчас этот пояс располагается в низких широтах с теплым климатом и отличается высо-

ким биоразнообразием. А в венде, как и на протяжении почти всей предшествующей истории, мелководные карбонатные бассейны контролировались цианобактериями. Об относительной холодноводности вендских метазоа говорит и массовая сохранность их остатков — низкие температуры сдерживают распад органического вещества.

¹⁴Williams D.M. et al. // Nature. 1998. V.396. P.453.



В умеренных и высоких широтах эндосимбиоз одноклеточных водорослей с животными не столь распространен, как в тропиках, — сезонность, а тем более полярная ночь делают их присутствие малоэффективным.

Изучение биотических и экологических характеристик современных холодных вод и вендских палеобассейнов показывает ряд общих черт. Среди них: обильная жизнь в море по сравнению с сушей; высокая биомасса бентоса; преобладание мягкотелых в бентосных сообществах; множество прикрепленных форм среди бентосных беспозвоночных; крупные размеры тела; сравнительно низкое биотическое разнообразие; уникально короткие трофические цепи; большое количество aberrantных форм; большая доля кишечнорастных среди хищников; высокая плотность популяций только некоторых видов; низкая физическая активность роющих форм; незначительная роль бактерий; низкая скорость биологической деструкции и другие особенности. Неравномерное распределение остатков фауны (от весьма обильных до редких) в однотипных отложениях, возможно, отражает сезонность размножения и расселения вендской фауны.

Экспериментально доказано, что температурный оптимум многих бактериальных ферментов, ответственных за разложение сложных органических соединений, намного выше температуры морских вод арктических бассейнов.

Есть и другие признаки, по которым вендская фауна схожа с той, что населяет современные холодные воды. Прежде всего, это преобладание мягкотелых форм и отсутствие минерального (карбонатного) скелета. Растворимость таких минералов, как арагонит и кальцит, формиру-

ющих раковины моллюсков, скелет кораллов, значительно выше в холодных водах. Соответственно энергетические затраты на постройку карбонатного скелета в холодных водах выше, чем в теплых. Вот почему животные тропических бассейнов отличаются более массивным скелетом от родственных форм холодно-водных обитаний.

Замечена некоторая корреляция между присутствием эндосимбиотических водорослей зооксантелл и способностью строить карбонатный скелет у ныне живущих кораллов.

Плюсы и минусы холодных вод

Современные холодные бассейны характеризуются силикокластической седиментацией и отсутствием карбонатных осадков. Активная вертикальная циркуляция вод, высокое содержание фосфатов, нитратов, растворенного органического вещества создают условия для очень высокой продуктивности первичных продуцентов — фитопланктона, начального звена большинства пищевых цепей. Это

компенсирует недостаток света из-за сезонной изменчивости светового режима, обширной облачности и низкой прозрачности воды. Высокая растворимость кислорода служит важнейшим фактором для всех эвкариот, особенно для животных (морская вода при 0°C поглощает в 1.6 раза больше кислорода, чем при 20°C). Большинство биологических процессов (питание, рост, размножение, расселение и смертность) определяются сезонными флуктуациями светового режима через фотосинтезирующий фитопланктон. В холодных регионах мы видим резкий контраст между богатой морской экосистемой и скудной жизнью на суше. Не так ли было и в протерозое до того, как сушу заселили высшие растения? Холодноводные бассейны отличаются высокой биомассой и продуктивностью биоты, очень короткими трофическими цепями (фитопланктон-криль-кит или фитопланктон-донные детритофаги), низким биоразнообразием, малой стабильностью биоценозов, преобладанием травоядных планктотрофов среди планктонных беспозвоночных и форм с прямым развитием (без стадии пелагической личинки), небольшой долей хищников в планктоне (среди них много медуз и гребневиков). Для многих видов характерны высокая продолжительность жизни индивида и неограниченный, хотя и медленный, рост, низкие скорость смены поколений и репродуктивный потенциал (яйца относительно крупные, богатые желтком, но немногочисленные), медленное распространение. Небольшие скорости метаболизма, измеренные по поглощению кислорода, и невысокая физическая активность связаны с низкими температурами. Стабильность донных биоценозов относительно мала, при том что некоторые виды образуют

весьма плотные поселения с высокой биомассой — результат длительного роста, позднего созревания и слабого давления хищников. Повышенная вязкость холодной воды влияет на ее структуру, подвижность флюидов в теле животного, эффективность фильтрующих систем. Холодная вода дольше держит взвесь, в том числе фитопланктон — отсюда ее большая мутность.

Сходство современных холодноводных экосистем с вендскими сообществами направляет поиск еще более ранних животных не в теплые тропические воды древних морей, а в прохладные воды более высоких широт. Есть и другой резон искать в протерозое первичные биотопы древнейших животных вне карбонатного пояса Земли. Дело в том, что теплые мелководные бассейны, в частности обширные моря рифея, контролировались прокариотами вплоть до конца венда. А.В.Вологдин, один из пионеров палеонтологии докембрия, полагал, что древние цианобактерии, как и современные, умели защищать себя ядами, угнетающими рост и размножение эвкариот, а в ряде случаев приводящими к их гибели. Так что заселить тепловодные бассейны высшим организмам было непросто.

Из холода в тепло — завоевание тропиков

Сезонность питания, характерную для высоких широт, можно рассматривать как фактор отбора в пользу форм с большей массой. Так называемая резервная биомасса нужна, чтобы переживать неблагоприятные времена. Однако рост и размеры тела ограничены обменными процессами — прежде всего дыханием. Развитие гетеротрофии и эффективных способов сбора

пищи могли способствовать созданию резервной биомассы и больших размеров тела только при достаточной концентрации кислорода в воде. Такое преимущество давали холодноводные бассейны.

Путь из холодных, богатых кислородом, вод в теплые стал возможным, когда в атмосфере резко выросло содержание свободного кислорода. По данным изотопного анализа углерода из позднего докембрия, это событие произошло в самом конце протерозоя¹⁵.

Первую попытку животных колонизовать тепловодный карбонатный бассейн мы наблюдаем на примере отложенной Оленекского поднятия (север Якутии). Когда по окончании Варангерского оледенения морские воды начали затапливать континент, животные быстро заняли теплые мелководья. Вендские беспозвоночные довольно долго «удерживали свои позиции» — остатки мягкотелых, преимущественно кишечнополостных, в изобилии встречаются в битуминозных тонкослоистых известняках хатыспытской свиты мощностью почти 100 м. Трудно сказать точно, сколько длился этот эпизод, но цианобактериальные сообщества надолго «взяли реванш» — мощность строматолитовых доломитов залегающей выше туркутской свиты более 200 м. Судя по современным аналогам, строматолиты растут крайне медленно. Лишь в самом конце венда и особенно в начале кембрия сообщества животных смогли вернуться в свободные от строматолитов обитания.

Причины массовой биоминерализации

В свете описанного сценария становится понятной за-

¹⁵ Knoll A.H., Carroll S.B. // Science. 1999. V.284. №5423. P.2045—2220.

гадочная массовая биоминерализация в разных группах животного царства в начале кембрия. Животные появились в относительно холодных водах вне карбонатного пояса планеты, который контролировали прокариоты¹⁶. Эра великих оледенений (криоген) давала большее преимущество именно эвкариотам, в том числе животным, хотя это было время их трудной эволюции. В ту холодную пору площади карбонатных бассейнов и ареалы прокариотных сообществ резко сократились. По окончании криогена животные смогли заселить тепловодные бассейны карбонатного пояса, а карбонатные постройки цианобактерий постепенно замещались рифами. Это обстоятельство резко ускорило эволюционные процессы, в частности — на основе сформированного минерального скелета.

Рост разнообразия эвкариот в целом способствовал удлинению пищевых цепей. Однако в тканях животных, находящихся на вершине трофической пирамиды, могли накапливаться высокие концентрации ряда элементов, в частности Ca, P, Si. Возникла необходимость их выведения или детоксикации. У части беспозвоночных появилась возможность строить минеральный скелет вследствие детоксикации в условиях тепловодных местообитаний, где растворимость ряда биоминералов ниже, а эффективность ответственных за минерализацию ферментов выше, чем в холодных водах. В становле-

нии биоминерализации животных не исключена и некоторая роль симбиотических микроорганизмов. Специалистам по кораллам известна замечательная закономерность: виды, имеющие симбиотические водоросли (зооксантеллы), формируют прочный массивный скелет, и наоборот, — у видов без симбиотических водорослей скелет минерализован слабо или минерализация вовсе отсутствует. Холодноводная фауна протерозоя, обитавшая в высоких широтах, могла не иметь устойчивого симбиоза с одноклеточными водорослями по причине краткого светового дня зимой. Колонизация тропиков и гарантированный световой день сделали этот симбиоз более эффективным в двух аспектах — снабжении кислородом хозяина и расширении возможностей биоминерализации.

Заключение и прогноз

Нам точно не известно, когда возникли первые животные. Разные подходы определенно указывают, что это событие произошло до начала венда, т.е. не позднее 700 млн лет назад. Ранняя эволюция животных протекала в условиях холодной биосферы. Имея в виду, что температурный оптимум эвкариот в среднем ниже, чем для прокариот, можно предположить, что холодноводные условия в большей степени угнетали бактериальные сообщества, чем высших организмов. С тем же знаком было влияние растущей концентрации кислорода в атмосфере. Фотосинтезирую-

щие эвкариотные водоросли все прочнее занимали место цианобактерий. На протяжении позднего протерозоя области доминирования микробной биоты неуклонно сокращались.

Череда ледниковых периодов неопротерозоя дала шанс для длительной, хотя и драматичной эволюции ранних животных. До конца протерозоя многие группы животных все еще обитали в прохладных бассейнах. Высшие организмы, пережившие 200 млн лет преимущественно холодной биосферы, смогли бросить вызов архаичной бактериальной биоте и с начала кембрия заселили теплые бассейны карбонатного пояса планеты. Это событие имело колоссальное значение для всей последующей эволюции животной жизни. Просматривая этот сценарий в надежде найти истоки высокоорганизованной жизни, мы неизбежно придем к холодным бассейнам, где бактерии не могли играть определяющей роли. Именно туда направляет поиск остатков более древних, довендских животных гипотеза «холодной колыбели». На ранней Земле такие области могли быть относительно небольшими, но с наступлением ледниковой эры неопротерозоя ареалы эвкариот существенно увеличились. Как ни парадоксально это звучит, но «что плохо для жизни, то хорошо для эволюции». Спасибо льдам протерозоя!

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Гранты 99-05-64547 и 99-05-65004.■

¹⁶ Fedonkin M. A. // *Paleontological Journ.* 1996. V.30. №6. P.669—673.

Собственное электромагнитное излучение растущего льда

А.А.Шибков, М.А.Желтов, А.А.Королев

Лед и снег, занимая значительную часть поверхности Земли, существенно влияют на ее климат и на нашу жизнь. Ледники, ледяные покровы различных акваторий, вечная мерзлота, содержащие большие массы льда, с течением времени изменяют свое строение и состояние и воздействуют на геофизические процессы. С давних времен лед привлекал внимание исследователей как распространенный природный объект. Достаточно упомянуть, что слово «кристалл» в переводе с греческого языка означает «лед», понятие «дендрит» (кристалл древовидной формы) впервые появилось для обозначения формы именно ледяного кристалла и т.д. Одной из первых средневековых работ по кристаллизации и симметрии был труд И.Кеплера «О шестиугольных снежинках», опубликованный в 1611 г. Лед изучали М.Фарадей, лорд Кельвин и многие другие выдающиеся естествоиспытатели. Исследованию свойств природных и искусственных льдов посвящено огромное количество научных работ; например, морскими льдами занимаются океанологи, ма-



Александр Анатольевич Шибков, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией физики льда, доцент кафедры теоретической и экспериментальной физики Тамбовского государственного университета им.Г.Р.Державина. Область научных интересов — физика прочности и пластичности, кинетика кристаллизации.



Михаил Александрович Желтов, кандидат физико-математических наук, ассистент той же кафедры. Занимается исследованием динамики дефектов различного уровня в диэлектрических и полупроводниковых кристаллах электромагнитными методами.



Александр Александрович Королев, аспирант той же кафедры. Изучает процессы пластической и электрической релаксации в высокоомных материалах и льде.

териковыми — гляциологи и т.д. В 40-е годы из гляциологии выделилась самостоятельная область — физика льда. Она изучает атомно-молекулярную структуру льда, особенности водородных связей, динамику решетки, кинетику фазовых переходов, распространение электромагнитных и акустических волн во льде и ряд других проблем¹.

Что мы знаем о льде?

К настоящему времени установлено, что лед обладает уникальными физическими свойствами. Он имеет двенадцать структурных модификаций, переходящие одна в другую за счет полиморфных превращений при изменении давления и температуры (лед XII обнаружен² только в 1998 г.). Обычный лед имеет гексагональную решетку, в которой атомы кислорода выстроены упорядочено, образуя правильные шестиугольники, а атомы водорода расположены хаотично. Это весьма нетривиальная ситуация для традиционной физики конденсированных сред — ведь в зависимости от условий получения твердое тело должно находиться либо в кристаллическом (когда атомы упорядочены), либо в аморфном (когда атомы образуют случайную сетку) состоянии. Во льде порядок и хаос сосуществуют вместе!

Необычность свойств «обычного» льда по сравнению с другими твердыми телами проявляется, например, в том, что он легче расплава (воды), имеет на поверхности тончайший, толщиной около микрометра, квазижидкий слой, физические характеристики которого отличаются от объ-

емных характеристик и льда, и воды. Температура плавления льда понижается с ростом давления, поэтому он плавится под действием механической нагрузки (это объясняет явление режеляции — спекание кусков льда или снежинок в монолит). Лед — полупроводник, носителями заряда в котором служат протоны в водородных связях; протонная проводимость льда возрастает с ростом температуры по экспоненциальному закону, как, например, в германии или кремнии, а поверхность раздела лед—вода выпрямляет переменный ток подобно р—п переходу в полупроводниковом диоде. Во льде обнаружено уникальное сочетание свойств, характерных для полупроводников и диэлектриков: термоэлектрический, фотопластический, псевдопьезоэлектрический и ряд других эффектов³. Большинство исследователей считают, что лед и вода — очень сложные и все еще не до конца изученные объекты, способные преподнести новые сюрпризы. Например, некоторые процессы, связанные с динамикой ледяных масс и протеканием фазовых превращений с участием льда, сопровождаются генерацией электромагнитного излучения в широком диапазоне частот. При сходе ледников, снежных лавин, распространении трещин во льде и даже перед этими катастрофическими событиями возникают всплески радиоизлучения в среднечастотном диапазоне⁴. Импульсное радиоизлучение в полосе частот ~10⁴—10⁶ Гц при кристаллизации во-

ды, водных растворов и некоторых других веществ обнаруживали многие ученые⁵. Эти авторы связывали такие импульсы главным образом с газовыми разрядами в промежутках между краями трещин, которые, как предполагалось, зарождаются в твердой фазе вблизи фронта кристаллизации. Подобные процессы вызывают также криолюминесценцию — свечение, сопутствующее быстрому замораживанию водных растворов и некоторых других жидкостей⁶.

Вместе с тем еще в 50—60-е годы было установлено, что при кристаллизации воды и водных растворов (а также ряда диэлектриков) на плоской фазовой границе формируется двойной электрический слой, состоящий из примесных ионов. Он вызывает появление значительной (до сотни вольт) разности потенциалов между твердой и жидкой фазами — так называемого потенциала замерзания (эффект Воркмана—Рейнольдса)⁷. Иначе говоря, фронт кристаллизации оказывается электрически активным. Фазовая граница кристалл—расплав морфологически неустойчива по отношению к образованию выступов и разрастанию их в боковые ветви, которые формируют дендритную поликристаллическую структуру. Рост кристалла, обусловленный различными проявлениями этой неустойчивости, принято назы-

¹ Маэно Н. Наука о льде. М., 1988.

² Lobban C., Finney J.L., Kuhs W. F. // Nature. 1998. V.391. P.268—270; См. также: Открыта новая фаза льда // Природа. 1998. №9. С.105.

³ Petrenko V.F., Whitworth R. W. Physics of ice. Oxford, 1999; Hobbs P.V. Ice physics. Oxford, 1974.

⁴ Берри Б.Л., Грибов В.А., Григоров И.О. и др. // Склоновые процессы. 1980. №9. С.18—21; Берри Б.Л., Грибов В.А. // Вестн. МГУ. Сер.5, География. 1982. №2. С.15—21; Качурин Л.Г., Григоров И.О., Кузин Ю.И. и др. // ДАН СССР. 1979. Т.248. №3. С.41—50.

⁵ Garcia-Fernandes H. // Meth. Phys. d'Annal. 1970.V.6. №1. P.58—59; Качурин Л.Г., Колев С.Н., Псаломщиков В.Ф. // ДАН СССР. 1982. Т.267. №2. С.347—350; Берри Б.Л., Григоров И.О., Качурин Л.Г. и др. Электромагнитные процессы при кристаллизации воды и разрушении льда // Пробл. техн. гляциологии. Новосибирск, 1986. С.24—32; Гудзенко О.И., Лапшин А.И., Косотуров А.В., Трохан А.М. // Журн. техн. физики. 1985. Т.55. №3. С.612—614.

⁶ Трохан А.М., Лапшин А.И., Гудзенко О.И. // ДАН СССР. 1984. Т.275. №1. С.83—86.

⁷ Workman E.Y., Reynolds S.E. // Phys. Rev. 1950. V.78. №3. P.254—259.

вать *неравновесным* ростом. Его исследование чрезвычайно важно для различных областей естествознания. В литературе пока нет данных о том, как связаны электромагнитные процессы при затвердевании воды и других диэлектриков с проявлениями морфологической неустойчивости электрически активного фронта кристаллизации. Представляется очевидным, что неравномерное движение морфологически неустойчивой и электрически активной фазовой границы лед—вода способно вызвать собственное электромагнитное излучение — электромагнитную эмиссию (ЭМЭ). В этом случае параметры последней должны нести информацию об эволюции неравновесной структуры твердой фазы.

Имея это в виду, мы и исследовали собственное электромагнитное излучение системы лед—вода при неравновесном росте льда, пытаясь установить связь параметров этого излучения со структурно-кинетическими характеристиками процесса кристаллизации.

Как замерзает переохлажденная вода

Известно, что форма кристаллов, выращенных из паровой фазы, сильно зависит от степени переохлаждения пара. Снежинки, падающие с неба, могут служить своеобразными атмосферными «морфологическими термометрами». Классификация форм снежинок в зависимости от температуры воздуха⁸, насчитывает девять различных вариантов в интервале от -0.1°C до -30°C . Что касается зависимости от температуры формы ледяных кристаллов, растущих в переохлажденной воде, то она экспериментально исследована лишь

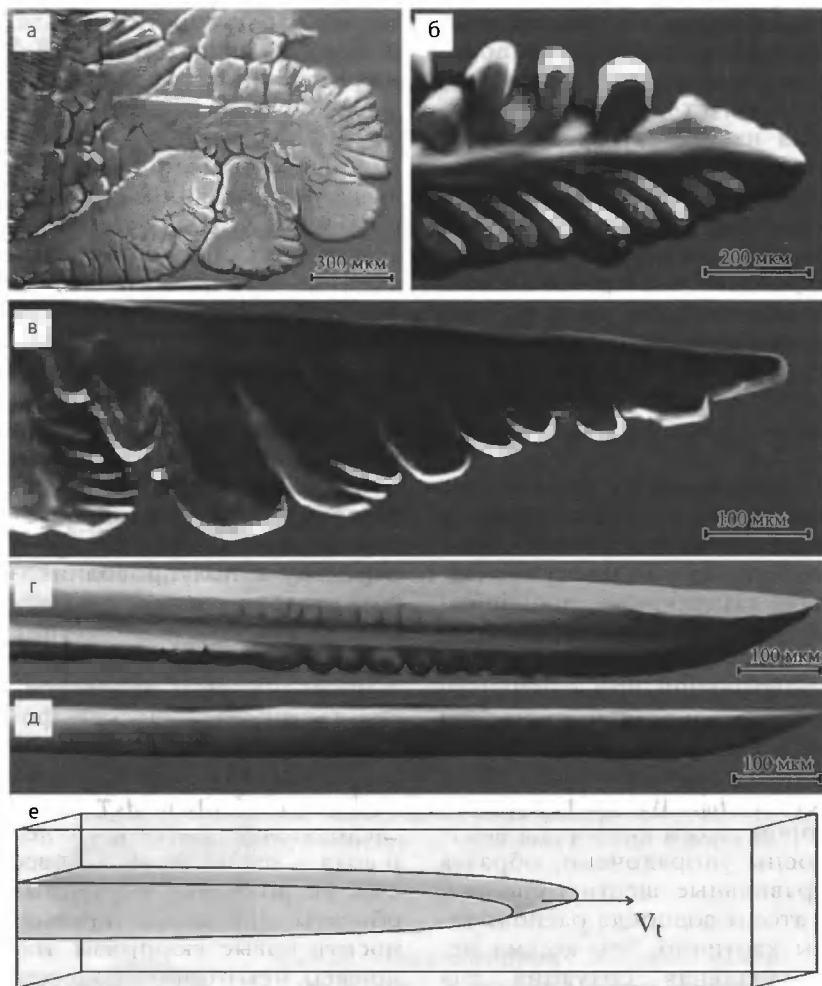


Рис.1. Типичные формы ледяного зерна, свободно растущего в переохлажденной воде (пленке) по данным видеосъемки: а) $\Delta T = 0.3 \text{ K}$; б) $\Delta T = 1 \text{ K}$; в) $\Delta T = 2 \text{ K}$; г) $\Delta T = 3 \text{ K}$; д) $\Delta T = 7 \text{ K}$; е) $\Delta T = (12-30) \text{ K}$.

в слабо неравновесных условиях, т.е. при относительно небольшом переохлаждении воды $\Delta T = T_m - T \leq 1 \text{ K}$ (здесь T — температура жидкой фазы, T_m — температура плавления льда). А ведь воду с содержанием примеси до $\sim 10^{-5}$ моль/л (сюда входят разбавленные водные растворы электрически активных солей с высоким, более 10 В, потенциалом замерзания и, в частности, дистиллированная вода⁹) можно переохлаждать приблизительно

до -30°C . В этом случае зарождение ледяных кристаллов происходит преимущественно гетерогенно, т.е. на инородных центрах — частицах примеси, стенках кюветы и т.д. Для дальнейшего переохлаждения необходима более высокая степень очистки воды многократной перегонкой, но при этом, во-первых, значительно падает потенциал замерзания, а во-вторых, происходит смена механизма зарождения на гомогенный, чрезвычайно сложный для экспериментального изучения.

⁸Мельникова А. М. // Кристаллография. 1970. Т.14. №3. С.548—563.

⁹См. сноску 1.

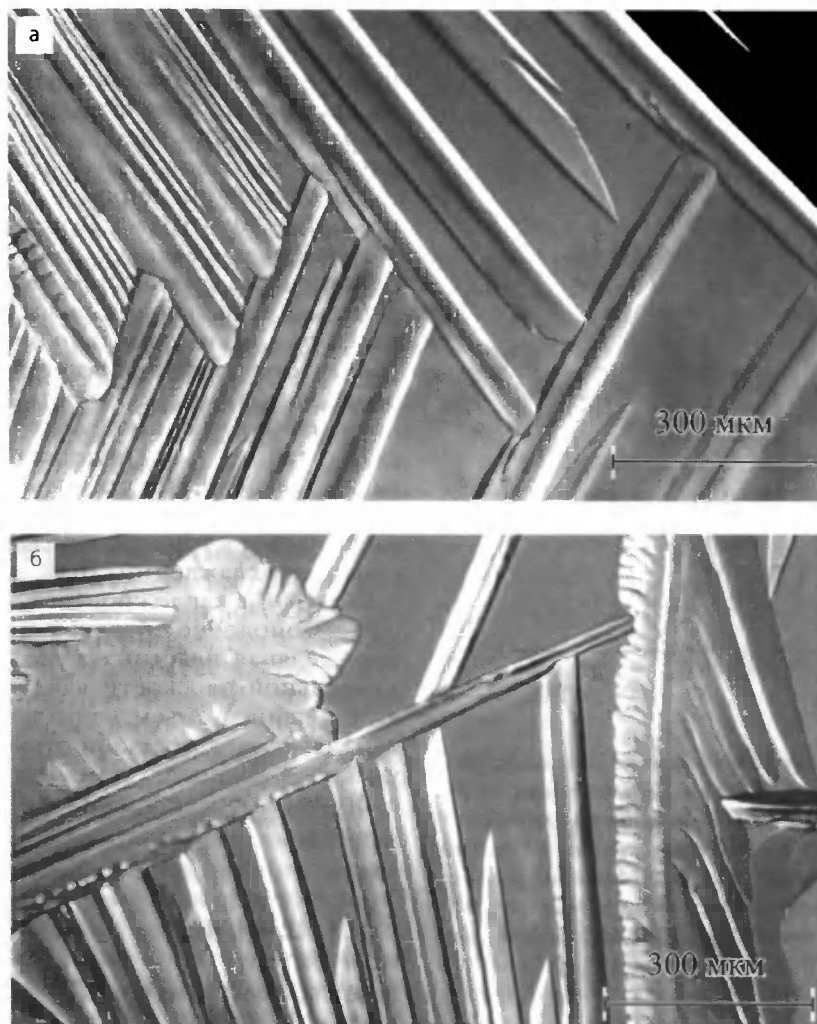


Рис.2. Типичные поликристаллические структуры, формирующиеся в условиях свободного роста льда при различных исходных переохлаждениях дистиллированной воды: а) структура NDM, $\Delta T = 5$ K; б) структура, возникающая в области перехода DBM—NDM, $\Delta T = 1.5$ K.

Какова же эволюция формы ледяных зерен и образованных ими структур в области гетерогенного зарождения льда в дистиллированной воде? Для детального анализа кинетики и морфологии растущего льда сначала рассмотрим кристаллизацию двумерной пробы воды (используемой в качестве модельного объекта) в виде тонкой (толщиной ~ 100 мкм) пленки, натянутой на проволочную петлю. Площадь петли (30 мм^2) выбира-

лась с таким расчетом, чтобы пленка не разрывалась за время кристаллизации. В ходе кристаллизации, как известно, выделяется тепло. Для измерения температуры пробы при замерзании петля выполнялась из двух проводников, образующих термодатчик. Зарождение льда в переохлажденной пленке с наибольшей вероятностью происходило на спае термодатчика, играющем роль гетерогенного «концентратора» процесса кристаллизации.

На рисунке 1 показано, как развивается зерно в зависимости от исходного переохлаждения воды ΔT . При $\Delta T < 0.5 \text{ K}$ рост льда характеризуется расщеплением кончиков дендритов (рис.1,а), а в интервале переохлаждений $0.5 \text{ K} < \Delta T < 12 \text{ K}$ зерно имеет форму дендритов, изображенных на рис. 1,б—д. По мере увеличения степени переохлаждения кончик ствола дендрита обгоняет по скорости роста боковые ветви, и в области $3 \text{ K} < \Delta T < 12 \text{ K}$ основным элементом поликристаллической структуры льда становится иглообразный кристалл (рис.1,д). При $12 \text{ K} < \Delta T < 30 \text{ K}$ в пленке спонтанно и взрывообразно зарождается и растет одно зерно в форме тонкой пластины (рис.1,е), которая за время $\Delta t \approx (70-200) \text{ мс}$ покрывает все горизонтальное сечение пленки, причем толщина пластины тем больше, чем сильнее переохлаждена вода и толще пленка. Перечисленные формы зерна представляют три основные структуры, образующиеся в ходе неравновесного роста в исследованном диапазоне переохлаждений. Рост, сопровождаемый расщеплением кончиков дендритов, приводит к формированию густой ветвистой структуры (dense-branching morphology — DBM). Иголообразные дендриты складываются в блоки, состоящие из десятков параллельных игл; в результате образуется характерная «паркетная» поликристаллическая структура (needle-shaped morphology — NDM, рис.2,а), которая с увеличением переохлаждения сменяется одним плоским зерном (plate dendrite — FD).

Морфологические переходы между этими структурами происходят в областях $0.5 \text{ K} < \Delta T, < 1.5 \text{ K}$ для перехода DBM—NDM и $12 \text{ K} < \Delta T, < 16 \text{ K}$ для перехода NDM—FD соответственно. В этих температурных ин-

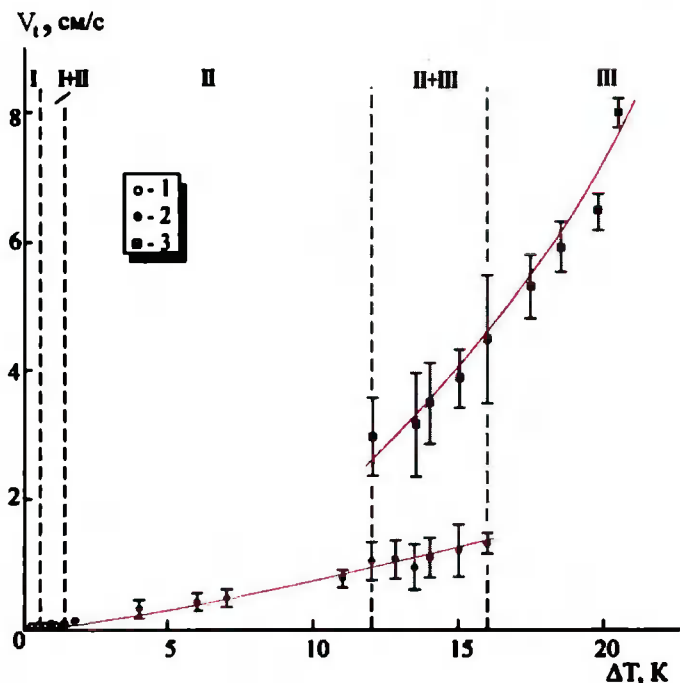


Рис.3. Кинетическая морфологическая диаграмма: зависимость максимальной скорости кончика v , дендрита в различных структурах от исходного переохлаждения дистиллированной воды ΔT . I — DBM, II — NDM, III — FD. Цветными линиями показаны функции, аппроксимирующие эти зависимости: для иглообразного дендрита (элемента структуры NDM) $v_{III} = 0.05\Delta T^{1/2}$ см/с; для плоского дендрита $v_{III} = 0.018\Delta T^2$ см/с.

тервалах наблюдаются одновременно обе структуры (см., например, рис.2,б), причем относительная объемная доля более «теплой» структуры падает с ростом переохлаждения внутри соответствующего интервала. Характерные скорости роста кончиков дендритов составляли: $V_t \leq 0.2$ мм/с для DBM, $V_t \sim (0.2-10)$ мм/с для NDM и $V_t \sim (3-10)$ см/с в случае FD-структуры. Из оптических наблюдений и морфологической диаграммы (рис.3) следует, что переход DBM—NDM носит постепенный, эволюционный характер, в то время как при переходе NDM—FD скачком изменяются все основные структурно-кинетические параметры фазового перехода: скорость кончика

дендрита V , возрастает в 3—4 раза, а количество дендритов N в (N $\sim 10^2$ в NDM структуре) падает (до $N = 1$ для FD структуры).

Следует подчеркнуть, что обнаруженные морфологические переходы при кристал-

лизации пленки воды не связаны со специально созданными модельными условиями эксперимента, а качественно и количественно воспроизводят переходы при кристаллизации трехмерных проб воды объемом $\sim 10^{-2}-10^2$ мл. Несмотря на более сложную пространственную организацию зерен льда в последнем случае, их форма и кинетика вполне соответствуют морфологической диаграмме, полученной для пленки. Особенность кристаллизации сферической капли (введенной с помощью шприца в минеральное масло) заключается в том, что в области переохлаждений $16\text{ K} < \Delta T < 30\text{ K}$ в капле спонтанно и взрывоподобно образуется ледяная пластина в диаметральной плоскости капли, а оставшийся объем воды затем замерзает со скоростью уже на 3—4 порядка меньше скорости роста пластины (рис.4).

Растущий лед излучает электромагнитные волны!

Потенциал нестационарного электрического поля вблизи кристаллизующейся пробы воды мы измеряли с помощью плоского емкостного зонда. Наведенный полем сигнал подавался на широкополосный усилитель (полоса пропуска-

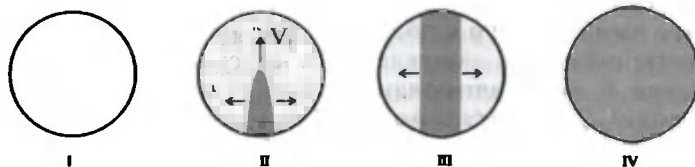


Рис.4. Стадии кристаллизации капли воды радиусом 3 мм, эмульгированной в минеральном масле: I — стадия зародышеобразования, продолжительность которой (10^2-10^3 с) зависит от ΔT , II — стадия взрывообразного роста ледяной пластины продолжительностью ~ 10 мс, III — стадия замерзания оставшейся воды в течение ~ 10 с, IV — образовавшаяся ледяная гранула.

ния $\sim 10^{-1} - 10^7$ Гц), а аналого-цифровой преобразователь и соответствующая компьютерная программа позволяли наблюдать сигнал на дисплее компьютера (рис.5). В ряде случаев использовали также самописец и осциллограф.

С помощью этой методики мы смогли зарегистрировать и измерить собственную электромагнитную эмиссию, возникающую при росте льда в переохлажденной воде. Типичные сигналы ЭМЭ, зарегистрированные у поверхности дистиллированной воды в температурной области гетерогенного зарождения льда, представлены на рисунках 6 и 7. Их можно разбить на две характерные группы: сигналы типа I в полосе частот $\sim 10^{-1} - 10^2$ Гц и сигналы типа II в полосе частот $\sim 10^3 - 10^6$ Гц. Чтобы установить связь излучения того или иного типа с разными стадиями фазовых превращений, мы снимали процесс кристаллизации на видеопленку синхронно с регистрацией сигналов ЭМЭ. Так мы убедились, что сигналы типа I (рис.6) связаны непосредственно с формированием ледяных зерен, их столкновением, образованием боковых ветвей и отражают нестационарный характер динамики кристаллизации в данных тепловых условиях. Импульсы же типа II (рис. 7) вызваны вторичными процессами, сопровождающими процесс кристаллизации, — развитием ростовых трещин, трением, отслаиванием от стенок кюветы и т.д.; они наблюдались даже после окончания кристаллизации в течение тепловой релаксации ледяного образца (остывания до температуры морозильной камеры).

Таким образом, удастся разделить вклад в генерирование электрических сигналов различных явлений, связанных как с собственно эволюцией морфологически неустойчивой границы лед—вода,

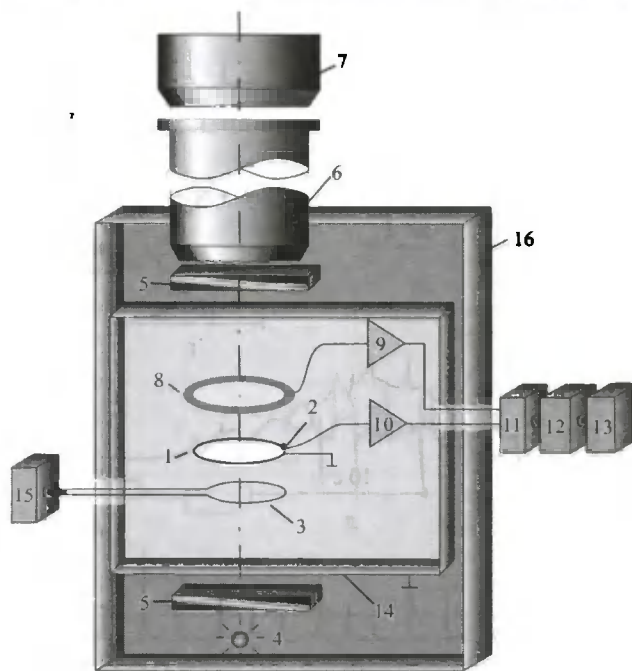


Рис.5. Схема экспериментальной установки для синхронной регистрации собственного электромагнитного излучения кристаллизующейся пленки воды и видеосъемки процесса роста льда. 1 — пленка воды в виде мембраны, 2 — проволоочная петля-термопара, 3 — электронагреватель, 4 — источник света, 5 — поляризаторы, 6 — микроскоп, 7 — видеокамера, 8 — емкостный зонд в виде плоского кольца, 9, 10 — предусилители, 11 — коммутатор, 12 — АЦП, 13 — компьютер, 14 — стальная экран, 15 — источник питания электронагревателя, 16 — морозильная камера.

так и с сопутствующими процессами. Более того, оказалось, что по форме и амплитудно-частотным характеристикам импульсов ЭМЭ можно надежно различать отдельные события кристаллизации, такие как эволюция элемента густой ветвистой структуры или дендрита с развитыми боковыми ветвями, иглообразного и плоского кристалла, развитие ростовой трещины, разрыв жидкой пленки, вызванный ростом дендрита, и т.д.

Последовательность импульсов ЭМЭ типа I, со своей стороны, позволяет идентифицировать различные структуры, например DBM и NDM. На основе этих результатов был составлен компьютерный

банк «электрических образов» некоторых важных мезоскопических событий кристаллизации. При соответствующем программном обеспечении он позволяет распознавать эти образы и в более сложном процессе (например, при множественной трехмерной кристаллизации), оценивать долю их участия в общей картине фазового перехода, проводить их амплитудно-частотный, статистический и корреляционный анализ и т.д.

Чтобы исследовать связь сигнала ЭМЭ с кинетикой кристаллизации, удобнее всего рассматривать рост *отдельного ледяного зерна*. В области переохлаждений $16\text{ K} < \Delta T < 30\text{ K}$, как отмечалось выше, в воде

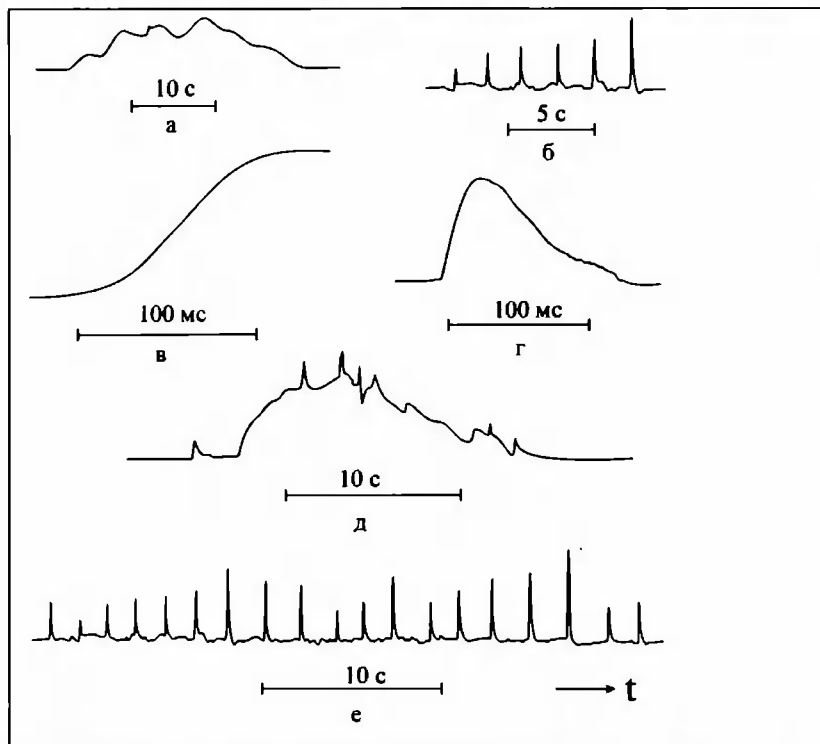


Рис.6. Типичные сигналы ЭМЭ типа I, сопровождающие эволюцию следующих событий неравновесного роста льда в переохлажденной воде:

- а) рост элемента густой ветвистой структуры (рис.1,а);
- б) пульсирующий рост дендрита с развитыми боковыми ветвями (рис.1,б), в результате каждой пульсации образуется новое «поколение» боковых ветвей;
- в) взрывообразный рост пластины в сильно переохлажденной пленке (рис.1,е);
- г) то же в капле воды, эмульгированной в масле (рис.2);
- д) переход между структурами DBM и NDM (рис.2,б);
- е) развитие структуры NDM (рис.3,а).

спонтанно и взрывоподобно образуется тонкая ледяная пластина; при этом генерируется один импульс ЭМЭ типа I. На рисунке 8,а сопоставлены результаты синхронных регистрации импульса ЭМЭ и кино съемки роста ледяной пластины. Видно, что форма фронта электрического сигнала хорошо коррелирует с временной зависимостью объема твердой фазы — так называемой кинетической кривой фазового перехода.

Основные выводы анализа последовательности импульсов ЭМЭ, которая сопровождается множественную кристал-

лизацию воды, происходящую за счет роста большого числа (больше тысячи) ледяных зерен в форме дендритов и игл, можно сформулировать так: а) распределение импульсов типа I по амплитудам хорошо согласуется с распределением зерен по размерам; б) число импульсов, накопленных к данному моменту времени, совпадает с количеством выросших ледяных зерен; в) суммарная амплитуда импульсов типа I, зарегистрированных к данному моменту времени, пропорциональна объему закristаллизовавшегося льда; г) совокупность импульсов ЭМЭ

типа I состоит из чередующихся «длинных» серий с примерно сотней импульсов в каждой. Средний коэффициент корреляции между амплитудой и длительностью последующей паузы между импульсами $\rho = 0.4 \pm 0.1$ (между сериями коэффициент корреляции близок к нулю, а в пределах серии короткие последовательности из 5—7 импульсов имеют очень высокую корреляцию $\rho = 0.8 \pm 0.1$). Короткие последовательности импульсов обусловлены пульсирующим ростом дендритов, а длинные серии — формированием нового ледяного слоя, состоящего из $\sim 10^2$ зерен; связь между средними значениями амплитуды и паузы между импульсами типа I близка к линейной, что свидетельствует о самоподобности (пространственной и временной) растущей структуры льда.

Таким образом, можно сказать, что, измеряя сигнал ЭМЭ, сопровождающий кристаллизацию, мы получаем отображение неравновесно растущей структуры (как правило, фрактальной) на временной ряд — зависимость от времени потенциала нестационарного электрического поля.

Какова же природа генерирования электромагнитного импульса, вызванного ростом ледяного зерна? Хотелось бы получить прямое подтверждение догадкам, что ключ к механизму излучения нужно искать в поведении поверхностного заряженного слоя. С макроскопической точки зрения этот слой характеризуется потенциалом замерзания; на последний же, как известно, существенно влияют даже незначительные примеси электролитов. Поэтому логично проверить, зависит ли амплитуда сигналов ЭМЭ от содержания таких примесей. Для этого в бидистиллированную воду (суммарное содержание фоновых примесей

$\sim 10^{-7}$ моль/л), используемую в качестве холостой пробы, вводились микродобавки электролитов $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ и NaCl в диапазоне концентраций $(10^{-6} - 10^{-3})$ моль/л. Из рисунка 8,б видно, что концентрационная зависимость амплитуды $\varphi_m(C)$ импульсов ЭМЭ типа I подобна концентрационной зависимости потенциала замерзания $U(C)$ в этих растворах. Значит, генерация электромагнитного сигнала действительно связана с эффектом Воркмана—Рейнольдса! Это качественное экспериментальное доказательство подкрепляется и теоретическим анализом. Не вдаваясь в детали, отметим только, что, рассчитав собственное нестационарное электрическое поле кристаллизующегося водного раствора на основе существующей теории эффекта Воркмана—Рейнольдса, мы получили результаты¹⁰, хорошо согласующиеся с экспериментальными данными во всей исследованной области переохлаждений $0.1 \text{ K} < \Delta T < 30 \text{ K}$.

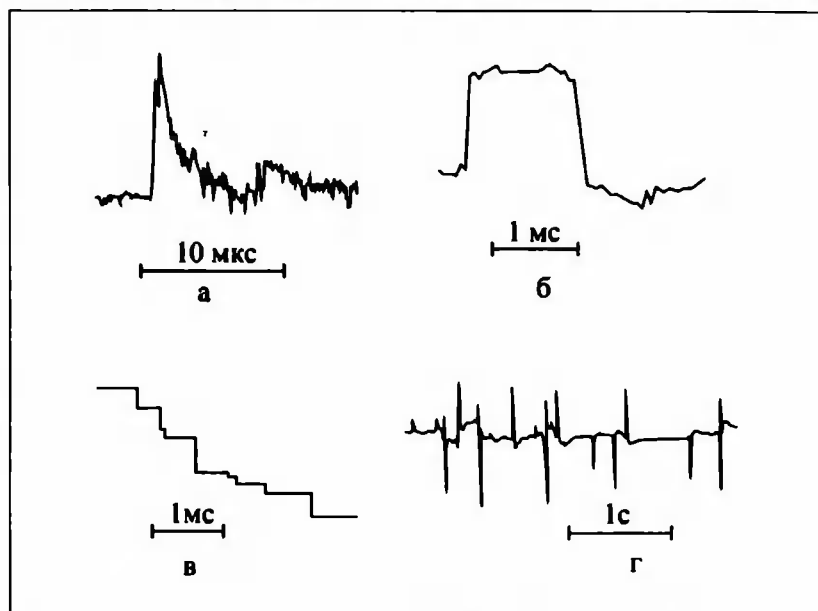


Рис.7. Типичные сигналы ЭМЭ типа II, сопровождающие некоторые вторичные явления при кристаллизации воды: а) эволюцию ростовой трещины на последних стадиях замерзания небольшого объема ~ 10 мл воды в жесткой кювете; б) развитие поперечной трещины в ледяной игле, заблокированной другими иглами NDM структуры; в) разрыв жидкой пленки, вызванный ростом иглообразного дендрита; г) зарождение и развитие нескольких трещин размером около 1 мм в ледяном образце после окончания кристаллизации в жесткой кювете.

Ну и что?

Итак, мы изучали электромагнитное излучение, возникающее при кристаллизации переохлажденной воды, в лабораторных условиях. В каких же реальных ситуациях подобные процессы играют роль и в какой мере наши данные могут помочь при их описании?

Тот факт, что при кристаллизации капель воды, эмульгированных в масле, генерируется ЭМЭ, проливает свет на некоторые явления атмосферного электричества. Для типичных размеров капель в облаках ($\sim 10^{-6} - 10^{-4}$ м) интервал характерных частот в спектре ЭМЭ, вызванной кристаллизацией

отдельных капель, можно оценить в $\sim 10^2 - 10^5$ Гц. Наложение большого числа случайных импульсов ЭМЭ, обусловленных стохастической кинетикой кристаллизации переохлажденных капель в атмосферных условиях, порождает фликкер-шум, способный объяснить атмосферные радиопомехи в области средних и длинных волн. Таким образом, полученные результаты могут быть использованы для моделирования явлений атмосферного электричества на уровне отдельных капель воды.

Далее, неравновесная межфазная разность потенциалов возникает при замерзании широкого класса диэлектриков. Поэтому установленные корреляции сигналов ЭМЭ с кинетикой кристаллизации и некоторыми вторичными процессами скорее всего уни-

версальны и могут стать основой для разработки новых методов: а) дистанционного исследования морфологически неустойчивого фронта кристаллизации; б) бесконтактного контроля роста кристалла диэлектрика и выявления ростовых трещин; в) непрерывного мониторинга геофизических объектов, содержащих большие массы льда и снега, способных к катастрофическим срывам (ледников, снежных лавин и т.д.).

Наконец, самое важное: последние два десятилетия интенсивно изучается динамика диссипативных систем, эволюция которых носит универсальный характер. Принято считать, что неравновесный рост кристалла из расплава — удобная модель морфогенеза таких систем, участвующих во множестве физических, хими-

¹⁰ Шибков А.А., Желтов А.А., Скворцов В.В. // Вестн. ТГУ. Сер. естеств. и техн. науки. 1999. Т.4. Вып.1. С.10—12.

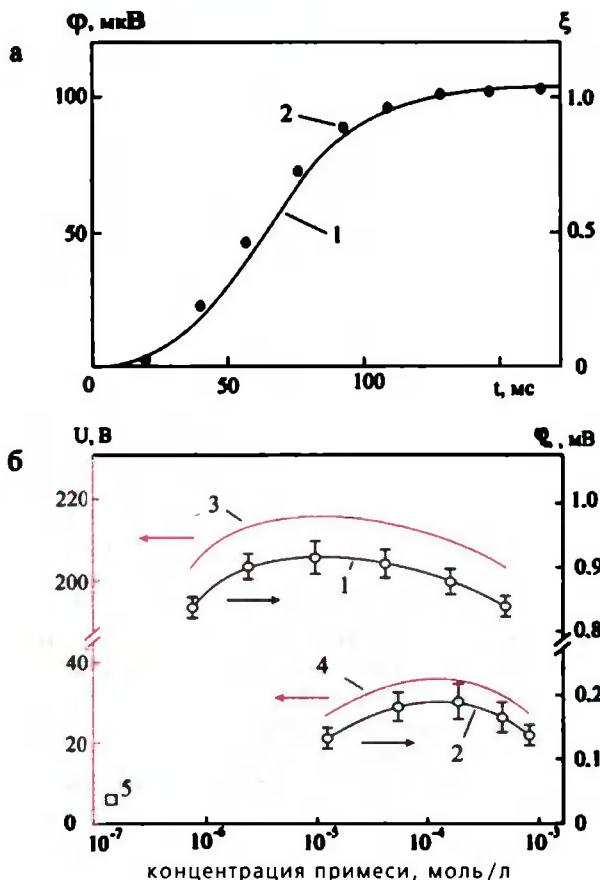


Рис.8. Связь параметров сигнала ЭМЭ типа 1 с кинетикой роста ледяного зерна в пленке воды при $\Delta T = 18$ К и потенциалом замерзания: а) форма фронта сигнала ЭМЭ (1) согласуется с временной зависимостью относительного объема (2) ледяной пластины $\xi = V/V_m$, где V_m — конечный объем пластины; б) зависимости амплитуд сигналов ЭМЭ от содержания примесей $(NH_4)_2CO_3$ (кривая 1) и NaCl (кривая 2) повторяют концентрационные зависимости потенциалов замерзания этих растворов (кривые 3 и 4 соответственно); 5 — средняя амплитуда сигнала ЭМЭ при кристаллизации пленки бидистиллированной воды.

ческих, геофизических и биологических процессов. Среди последних наиболее известны разнообразные явления неустойчивости при распространении фронтов диффузионного пламени, несмешиваемых вязких жидкостей, неустойчивости, вызванные химической реакцией и ударной ионизацией на поверхности твердого тела. Сюда же относятся неустойчивости диффузионной агрегации частиц, разрушения аморфных пленок, переупаковки горных пород, роста популяции бактерий и т.д. Несмотря на большое число работ в области аналитического и компьютерного моделирования, проблема отбора глобальных морфологий неравновесного роста (густой ветвистой, дендритной, водорослеподобной и др.) остается открытой главным об-

разом из-за дефицита экспериментальной информации. Поэтому в дополнение к традиционной задаче кристаллофизики — выращиванию кристаллов с заданными физическими свойствами — сейчас обозначилось новое актуальное направление. Оно состоит в экспериментальном изучении кинетики и морфологии неравновесного роста, особенно в области больших скоростей, и имеет как фундаментальное, так и прикладное значение. Последнее определяется, в частности, интересом к дендритному росту не только в металлургии, но и, например, в медицине, где форма дендритов некоторых кристаллов используется для диагностических целей.

Таким образом, «обычная» в бытовом смысле система

лед—вода не только проявляет уникальные свойства, но и служит очень удобной моделью морфогенеза диссипативных систем, с помощью которой можно исследовать эволюцию структур неравновесного роста, морфологические переходы между ними, т.е. экспериментально на мезо- и макроуровне изучать проблему отбора глобальных морфологий в достаточно легко реализуемой области переохлаждений. Весьма тонким физическим инструментом исследования при этом оказывается собственное электромагнитное излучение растущего льда.

Работа поддерживается Российским фондом фундаментальных исследований. Грант 98-02-17054. ■

Космическая пыль в Океане



Г.С.Ануфриев, Б.С.Болтенков

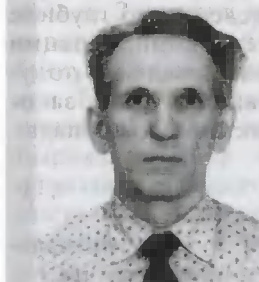
Вклад космического материала в океанические осадочные породы подзревался давно. Многие морские геологи и геохимики до сего времени связывают некоторые стороны рудогенеза (например, накопление таких компонентов, как железо, никель, кобальт) со значительными поставками на дно океана космической пыли¹. Поэтому вопрос о величине потока космического вещества на Землю не потерял своей актуальности. Мы попытаемся рассмотреть явление «космическая пыль в Океане» на изотопном уровне. Космическая пыль транспортирует солнечную «плазму» — поток, создающий неповторимую изотопную метку. В частности, космический (или солнечный) трассер дает возможность развить уникальный метод датирования осадочных пород, основанный на стабильных изотопах и позволяющий решать некоторые дискуссионные вопросы морской геохронологии (например, определение скорости роста и возраста железомарганцевых конкреций).

¹ Лисицын А. П. Осадкообразование в океанах. М., 1974; Андреев С. И. Металлогения железомарганцевых конкреций Тихого океана. СПб., 1994.

© Г.С.Ануфриев, Б.С.Болтенков



Георгий Степанович Ануфриев, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории масс-спектрометрии Физико-технического института им.А.Ф.Иоффе РАН (Санкт-Петербург). Область научных интересов — солнечное корпускулярное излучение, изотопы в природе как метод исследования происхождения и эволюции Солнечной системы. Соавтор научного открытия реликтового первозданного гелия в недрах Земли.



Борис Семенович Болтенков, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник той же лаборатории. Область научных интересов — изотопный анализ и распространенность изотопов инертных газов на Земле, Солнце и в космическом пространстве.

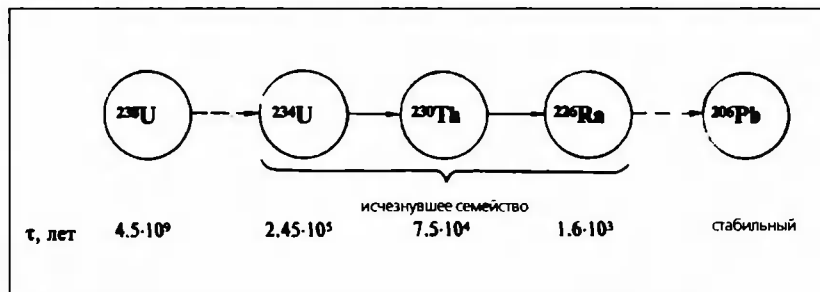


Рис.1. Фрагмент цепочки радиоактивного распада изотопа урана ^{238}U с указанием периодов полураспада (τ).

Мировой океан занимает около 71% земной поверхности. На его дне находятся разнообразные полезные ископаемые и протекает интенсивный рудогенез. Океанические осадки, сформировавшиеся поверх коренных пород, по сути дела — запись последних, по крайней мере 50 млн лет развития Земли. Для того чтобы «прочитать» эту информацию, необходимы надежные методы определения возраста и скоростей роста океанических отложений. Данная геохронологическая задача нашла свое решение при помощи неравновесных методов ядерной геохронологии.

Исчезнувшее семейство

В составе океанической воды присутствует $2.5 \cdot 10^{-9}$ г/л урана. При его распаде образуется семейство радиоактивных элементов ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra и др. со своими периодами полураспада (рис.1). Согласно закону радиоактивного распада, нетрудно определить равновесные концентрации этих изотопов. Однако исследования показали, что в океанической воде содержится только несколько процентов от их ожидаемого количества. Урановое семейство исчезло. Вскоре его отыскивали в океани-

ческих илах², причем дефицит в воде оказался в точности равен обнаруженному избытку в илах. Выяснилось, что радиоактивные изотопы уранового семейства прекрасно сорбируются океаническими взвешями и глинами. Это явление послужило основой применения избыточных (неравновесных) радиоактивных изотопов для датировки океанических осадков.

Для выбранного избыточного изотопа с известным периодом полураспада τ измеряют распределение по глубине образца l его концентрации $C(l)$ и отождествляют полученную зависимость с законом радиоактивного распада

$$C = C_0 e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

где C и C_0 — текущая и начальная концентрации изотопа, t — время накопления породы, $\lambda = \ln 2/\tau$ — постоянная распада.

Измеренную зависимость $C(l)$ аппроксимируют также экспонентой

$$C = C_0 e^{-at} \text{ или } \ln C/C_0 = -at. \quad (2)$$

На графике в координатах l и $\ln C/C_0$ эта зависимость линейна, а тангенс угла наклона равен a . Определив a и исключив из (1) и (2) неизвест-

ную величину C_0 , находят скорость роста осадочной породы $r = l/t = \lambda/a$ и время накопления слоя $t = al/\lambda$.

Таким образом, для определения геохронологических параметров осадочной породы необходимо в эксперименте получить две величины — толщину образца (l) и величину (a). Причем достоверность значений r и t не будет вызывать сомнений лишь при выполнении некоторых условий, а именно: при постоянстве потока радиоизотопов в океанические илы и скорости роста илов, а также неизменности накопления слоев породы. Многочисленные измерения, выполненные в различных лабораториях мира, показали, что глубоководные илы растут со скоростью примерно 1 мм/тыс. лет.

Космогенный хронометр

Проверить соблюдение условий, при которых неравновесные методы дают верные результаты, к сожалению, не всегда возможно. А это значит, что остается доля сомнений в правильности полученных данных. Хотелось бы иметь еще хотя бы один прямой геохронологический метод. Он был найден. Выяснилось, что в результате взаимодействия космического излучения с атмосферой Земли образуются радиоактивные изотопы, в том числе ^{10}Be и ^{26}Al , с периодами полураспада 2.7 и 0.74 млн лет соответственно³. Кстати, эти величины значительно больше, чем периоды полураспада ^{234}U , ^{230}Th и ^{226}Ra , и, следовательно, при использовании ^{10}Be и ^{26}Al можно расширить геохронологическую шкалу в сторону более древних возрастов. Эти изотопы адсорбируются на

² Старик Е.И. Ядерная геохронология. М.:Л., 1961.

³ Шуколюков Ю.А. Часы на миллиард лет. М., 1984.

мельчайших частицах пыли и вместе с дождевой водой выпадают на поверхность Земли; значительная их часть поступает в океаны, а затем в донные осадки. Алгоритм расчета возраста и скорости роста осадочных пород ничем не отличается от рассмотренного выше. Оказалось, что найденные по космогенным изотопам значения скорости роста во многих случаях совпадают с теми, которые дают неравновесные методы. К сожалению, условия применения методов практически полностью совпадают, т.е. требуется постоянство потока, скорости роста и сохранность стратиграфической последовательности в процессе формирования породы. Не поддающиеся контролю отступления от них порождают практически одинаковые ошибки в определениях r и t . Необходимо разработать такой метод датировки осадочных пород, условия применения которого были бы другими, например, не требовалось бы постоянство скорости роста.

Метод космического трассера

В Физико-техническом институте им.А.Ф.Иоффе РАН (ФТИ) был предложен новый метод определения скорости образования осадочных пород, основанный на измерении в них содержания космической пыли, выпадающей на Землю⁴. Скорость роста r , плотность потока пыли F , концентрация пыли k и плотность породы ρ связаны соотношением

$$F = r\rho k, \quad (3)$$

особенность которого в том, что оно не содержит толщины

образца. А это значит, что его применение не предполагает непереносимости постоянства скорости роста и поэтому позволяет исследовать ее послойные вариации.

Как определить концентрацию (содержание) космической пыли в породе? Во-первых, можно использовать различие космической и земной распространенности некоторых элементов, например, Ni, Fe, Co, Os, Ir и др. А во-вторых — отличие физических свойств космических и земных пылинок. Признаками «космичности» считаются сферичность частиц, темная окраска поверхности, магнитность, характерные размеры.

Заметим, что величина F связана со скоростью аккреции космической пыли Землей — простым соотношением $=FS$, где $S = 5.1 \cdot 10^{18} \text{ см}^2$ — площадь поверхности Земли.

С учетом этих признаков была рассчитана скорость аккреции космической пыли Землей. Полученная величина у разных авторов оказалась различной даже при использовании одних и тех же признаков. Значения лежат в диапазоне 10^3 — 10^9 т/год, т.е. разброс составляет шесть порядков. Таким образом, данными методами задача не решается. Выражение (3) формально позволяет находить скорость роста осадочных пород, а фактически этого сделать нельзя из-за громадной неопределенности величины концентрации космической пыли.

Солнечный ветер

Солнечная корона непрерывно расширяется в космическое пространство. Истечение коронарной плазмы называется солнечным ветром, средняя скорость которого, измеренная вблизи Земли, составляет 400 км/с, а корпускулярный поток $\sim 3 \cdot 10^8$ ион/см²·с. Основная составляющая потока — протоны.

Второе место по распространенности занимают α -частицы (ядра гелия) $\sim 10^7$ [He]/см²·с. Солнечный ветер практически не проникает в атмосферу нашей планеты из-за экранирующего действия земной магнитосферы. Космические же пылинки, Луна и другие тела солнечной системы, не имеющие магнитной защиты, интенсивно облучаются солнечным ветром. Концентрация космических частиц, имплантированных в их поверхность, может достигать очень большой величины. Например, содержание⁵ гелия (по изотопу ⁴He) составляет $\sim 1 \text{ см}^3/\text{г}$ для пылинок микронных размеров. Изотопный состав ряда элементов солнечного ветра хорошо известен из экспериментов с мишенями, облученными в космосе, и исследования образцов лунного грунта, доставленного на Землю. Так, для солнечного гелия ³He/⁴He = $3.7 \cdot 10^{-4}$, т.е. он заметно обогащен легким изотопом ³He по сравнению с терригенным, для которого эта величина составляет $\sim 10^{-8}$ — 10^{-7} . Измерения показывают, что глубоководные океанические илы имеют характерные изотопные отношения ³He/⁴He $\approx 10^{-5}$, а это означает, что не менее 99% ³He в осадочных породах имеет солнечное происхождение за счет аккумуляции космических пылинок. Таким образом, появилась возможность значительно более точного измерения концентрации космической пыли в образцах осадочных пород и, следовательно, определения скорости ее аккреции Землей.

Еще раз о нестандартном методе датировки пород

Учитывая малое (микрограммовое) содержание кос-

⁴Ануфриев Г.С., Крылов А.Я., Павлов В.П., Мазина Т.И. // ДАН. 1977. Т.237. №2. С.284—287.

⁵Количество гелия удобно измерять объемом (в см³) газа, приведенного к нормальным условиям.

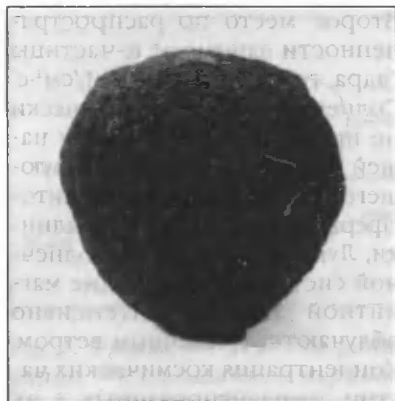


Рис.2. Железомарганцевая конкреция диаметром 8 см и весом 0.5 кг из Южной котловины Тихого океана (коллекция Л.И.Аникеевой).

мической пыли в осадочных породах, а также то, что весь ^3He имеет внеземное происхождение, выражение (3) можно видоизменить следующим образом⁶:

$$F(^3\text{He}) = rp \cdot [^3\text{He}], \quad (4)$$

где $F(^3\text{He})$ — плотность потока ($\text{см}^3/\text{см}^2 \cdot \text{год}$) изотопа ^3He , транспортируемого космической пылью на океаническое дно; $[^3\text{He}]$ — концентрация гелия ($\text{см}^3/\text{г}$) в образце.

Существует несколько способов определения потока $F(^3\text{He})$:

- применение спутниковых данных о потоке космической пыли и концентрации солнечных газов в пылинках лунного грунта;

- теоретический расчет количества космической пыли, достигающей поверхности Земли;

- использование величины потоков других изотопов в том же самом образце.

Определенная нами вели-

чина потока изотопа ^3He в океанические осадочные породы⁷ составляет:

$$F(^3\text{He}) \approx 2.4 \cdot 10^{-15} \text{ см}^3/\text{см}^2 \cdot \text{год}. \quad (5)$$

Эта величина получена на основании наших экспериментальных определений концентрации и изотопного состава гелия в океанических илах; учета величин скоростей роста илов, полученных другими методами и упомянутых спутниковых данных, а также теоретических расчетов скоростей аккреции космической пыли Землей.

Ошибка определения величины потока $F(^3\text{He})$ лежит в пределах 50%. При дальнейшем развитии метода космического трассера ошибка может быть существенно уменьшена в результате набора нового экспериментального материала.

Если считать, что поток постоянен в длительном интервале времени, то выражение (4) можно применять для определения скорости роста осадочных пород

$$r = F(^3\text{He})/\rho \cdot [^3\text{He}]. \quad (6)$$

Это равенство можно рассматривать как формализованное выражение нового способа определения скоростей роста осадочных пород посредством измерения в образцах концентрации стабильного изотопа ^3He . При этом ни прямо, ни косвенно не используются закономерности радиоактивного распада и, следовательно, исключается возможность ошибочного отождествления любого природного процесса, протекающего по экспоненциальному закону в осадочных породах, с радиоактивным распадом. Применение метода космического трассе-

ра не требует выполнения условия постоянства скорости роста. Выражение (6) позволяет определять как вариации скорости роста при работе с тонкими срезами пород, так и усредненные величины при изучении толстых образцов.

Проведенные исследования показывают, что космическое вещество и инертные газы солнечного происхождения практически всегда присутствуют в океанических осадочных породах. Поэтому возможны определения:

- вариаций космического излучения и солнечной активности;

- вариаций потока космической пыли на Землю в зависимости от географических координат;

- скоростей аккреции космической пыли в прошлом;

- потоков изотопов на океаническое дно;

- вариаций скоростей осадкообразования в океанах;

- возраста и скоростей роста океанических осадочных пород и др.

Парадокс непотопляемости

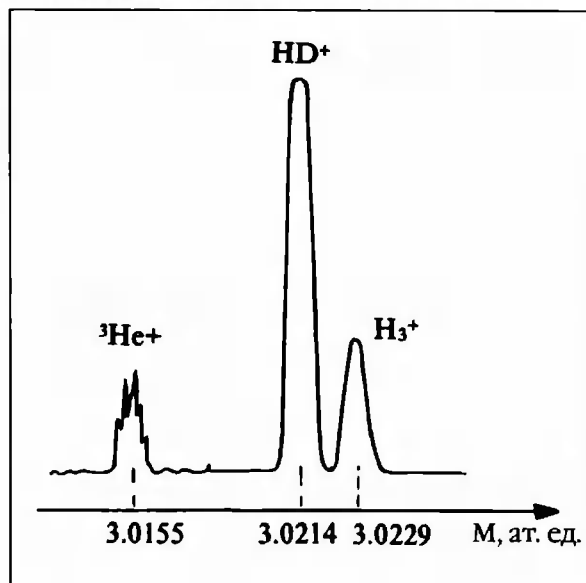
Дальнейшие наши исследования посвящены изучению возраста и скоростей роста океанических глубоководных железомарганцевых конкреций (рис.2).

Такие образования находят практически во всех морях и океанах, а также нередко и в озерах. Однако только глубоководные океанические конкреции залегают с большой плотностью (до $200 \text{ кг}/\text{м}^3$), образуя рудные поля, перспективные с точки зрения разработки полезных ископаемых. Конкрекции имеют неправильную сферическую форму с диаметром 4–8 см. Они представляют собой практически полиметаллические руды: кроме марганца и железа (основных своих

⁶ Ануфриев Г.С., Болтенков Б.С., Капитонов И.Н. // ДАН. 1989. Т.304. №3. С.702–705.

⁷ Ануфриев Г.С., Болтенков Б.С. // Литология и полезные ископаемые. 1996. №5. С.552–560.

Рис.3. Масс-спектр высокого разрешения (триплет масс ионов с массовым числом 3). М — шкала масс в атомных единицах. Ионы HD^+ и H_3^+ (ники так называемого остаточного спектра) — результат присутствия в вакуумной системе масс-анализатора и экстрактора некоторого (остаточного) количества водорода при ничтожном общем давлении газов (вплоть до 10^{-10} мм р.с.). D — дейтерий, тяжелый изотоп водорода. H_3^+ — диссоциативно-ассоциативный ион, образующийся в ионном источнике при взаимодействии пучка электронов с водородом в вакуумных условиях. Для записи пика изотопа 3He чувствительность регистрирующей системы была повышена в тысячу раз.



компонентов) содержат много Ni, Cu, Co, а также Pt (до 4 г на тонну) и другие металлы. Считается, что железомарганцевые конкреции занимают около 10% площади океанического ложа. Их запасы составляют примерно 340 млрд т. Однако до сих пор не существует ни однозначной теории происхождения данных конкреций, ни количественных моделей процесса их формирования. Даже оценки запасов по разным методикам сильно различаются. Не ясна и скорость роста этих образований, от которой непосредственно зависит оценки скорости пополнения запасов таких руд.

Существуют две оценки скоростей роста конкреций: быстрый рост ~1 мм/тыс. лет и медленный ~1 мм/млн лет. На основании неких общих соображений (влияния миграции, открытости системы) многими исследователями быстрый рост был отвергнут.

Медленная скорость роста следует из решения задачи неравновесными методами ядерной геохронологии при помощи изотопов ^{230}Th (иония), ^{231}Pa , ^{234}U и их отношений, а также на основании измерения космогенных изотопов ^{10}Be , ^{26}Al . В поверхностных

слоях наблюдается экспоненциальная зависимость изменения концентрации радиоизотопов в глубь конкреции. Если предположить, что последние растут с постоянной скоростью и уменьшение концентраций радиоизотопов во внутренних слоях обусловлено только радиоактивным распадом исследуемых изотопов, то можно рассчитать время, необходимое для уменьшения их концентрации в различных слоях конкреции и, собственно, скорость ее роста. Однако полученные этим методом медленные скорости роста конкреций противоречат некоторым другим экспериментальным данным. В частности, возникает вопрос: почему на поверхности дна океана находятся огромные поля таких образований, лежащих на донном иле, скорость осаждения которого (надежно измеренная различными методами, в том числе и радиационным) в тысячи раз больше, чем скорость роста самих конкреций? Это противоречие получило название «парадокс непотопляемости». Для его разрешения выдвигались различные экзотические механизмы, объяснявшие, почему медленно растущие

плотные конкреции всплывают и поддерживаются на поверхности быстро осаждающегося рыхлого ила. Но убедительных ответов пока не найдено. Для решения вопроса о скоростях роста конкреций нужно было найти принципиально новый метод определения их возраста. Здесь и пригодился метод космического трассера.

Изотопы гелия в железомарганцевых конкрециях

Масс-спектрометр для анализа гелия должен удовлетворять определенным условиям, два из которых — высокое разрешение и высокая чувствительность — взаимно противоречивы (рис.3). Совместить высокие аналитические параметры удалось в магнитных резонансных масс-спектрометрах⁸, впервые предложенных, сконструированных в ФТИ и имеющихся в нашем распоряжении. Использовались образцы двух типов: толстые (10 мм) и тонкие (0.1–1 мм).

⁸Ануфриев Г. С. Анализ неорганических газов. Л., 1983. С.56–77.

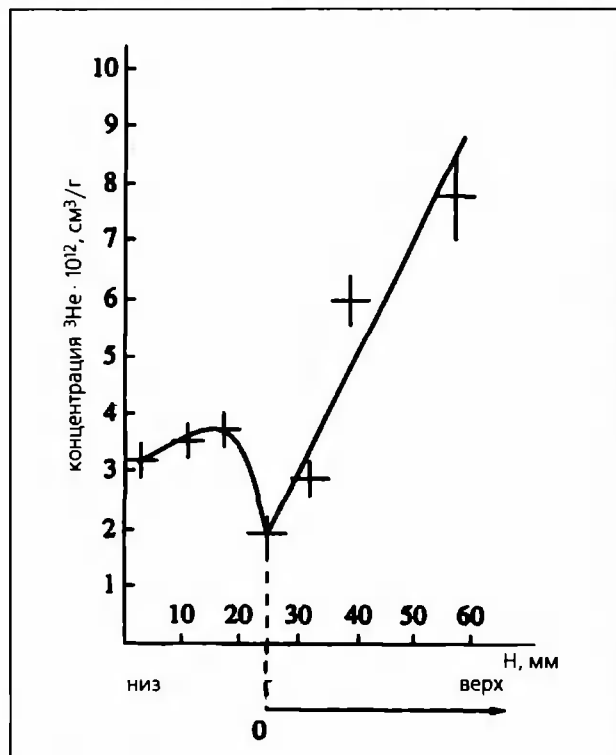


Рис. 4. Распределение концентрации изотопа ^3He по высоте колонки, вырезанной из железомарганцевой конкреции. Ветвь графика 0 — низ в сравнении с ветвью 0 — верх демонстрирует эффект самоэкранирования.

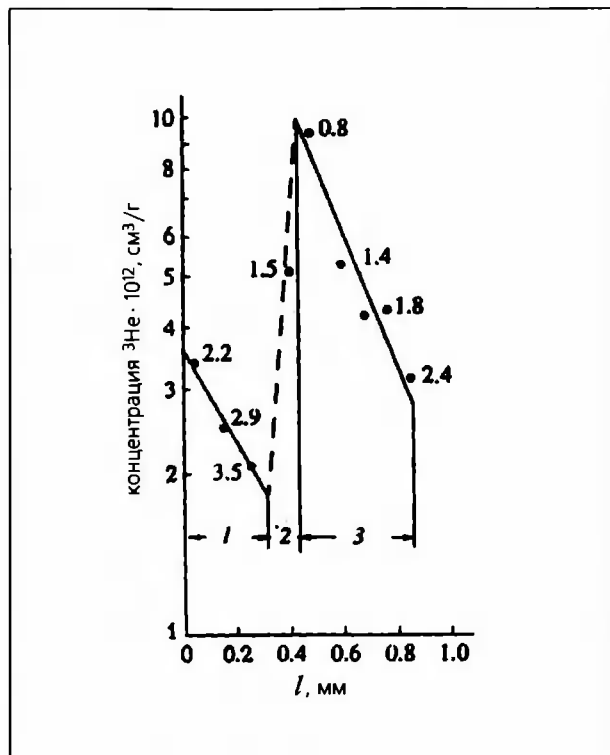


Рис. 5. Распределение концентрации изотопа ^3He по глубине в приповерхностном слое конкреции ($l = 0$ на поверхности) в полулогарифмических координатах. Цифрами 1, 2, 3 отмечены участки монотонных изменений концентраций (1, 3 — экспоненты). Числа рядом с экспериментальными точками — скорости роста (мм/ 10^3 лет), рассчитанные по (6).

Эффект самоэкранирования. При получении толстых образцов выпиливалась сквозная колонка с основанием 10×10 мм², проходящая через геометрический центр конкреции. Затем она разрезалась на 7—10 частей. Каждый образец измельчался, и навеска около 1 г загружалась в вакуумную экстракционную установку, соединенную в линию с масс-спектрометром.

В конкрециях изотопные отношения гелия ($^3\text{He}/^4\text{He}$) $\sim 10^{-5}$. Это результат смешения солнечного гелия ($^3\text{He}/^4\text{He} \sim 3.7 \cdot 10^{-4}$), поставляемого космической пылью, и терригенного ($^3\text{He}/^4\text{He} \sim 10^{-7} - 10^{-8}$). Скорость роста, определенная

в образцах, лежит в пределах 1—10 мм/тыс. лет. На рис. 4 видно, что концентрация изотопа ^3He изменяется, по определенному закону, от середины к краям конкреции. Минимальное значение ^3He наблюдается вблизи геометрического центра симметрии. Это дает основание считать, что минимум на графике соответствует зародышу, вокруг которого произошло формирование тела конкреции, т.е. в возрастном исчислении это ее самый древний фрагмент. Для верхней полуплоскости сферы концентрация изотопа ^3He линейно увеличивается от центра к периферии. Скорость роста (6) — величина, обратно пропорциональная содер-

жанию ^3He , и соответственно она уменьшается от центра к периферии. Для нижней полуплоскости зависимость иная. По мере удаления от центра концентрация ^3He несколько увеличивается, затем достигает насыщения и немного убывает. Такой вид зависимости, вероятнее всего, отражает влияние эффекта экранирования потока космической пыли телом растущей конкреции (самоэкранирование). Поэтому подобные расчеты возраста и скорости роста конкреции можно проводить только для ее верхней полуплоскости.

Концентрационная экспонента. Тонкие образцы приготавливались в виде по-

рошка при стачивании фрезой поверхности конкреции⁹. Оказалось, что скорость роста тонких слоев такая же, что и в толстых образцах, ~1 мм/тыс. лет. Мы последовательно снимали с поверхности до 10 слоев толщиной ≈ 0.1 мм. Можно было ожидать, что концентрация ^3He в них постоянна, тогда постоянна и скорость роста конкреции. Только в этом случае применение радиоизотопных методов (по крайней мере для определения скоростей роста тонких приповерхностных слоев) вполне оправдано.

Результаты экспериментов с конкрецией весом около 0.5 кг из рудной провинции Кларин-Клиппертон приведены на рис.5, на котором показаны следующие регулярные изменения концентрации: два участка графика (1 и 3) аппроксимируются отрезками падающих прямых и один (2) — нарастающей. Как выяснилось, последний связан с присутствием тонкой глинистой прослойки. При падении скорости роста до $0.8 \text{ мм}/10^3 \text{ лет}$ конкреция стала засыпаться выпадающей из воды взвесью, скорость накопления которой выше. Затем поток марганца и железа вновь увеличился, и на тонкой и, вероятно, не сплошной прослойке глины образовался новый, самый верхний слой. Первый участок графика в аналитической форме описывается так:

$$[^3\text{He}] = [^3\text{He}]_0 e^{-bt}, \quad (7)$$

где $[^3\text{He}]_0$ — концентрация изотопа гелия на поверхности ($l = 0$); $[^3\text{He}]$ — текущее значение концентрации при $l \leq 0.3 \text{ мм}$; b — тангенс угла наклона графика. Подобная закономерность справедлива и для третьего участка графика, если начало отсчета перенести в точ-

ку $l = 0.5$, в которой скорость роста упала до минимального значения $0.8 \text{ мм}/10^3 \text{ лет}$.

Таким образом, измерения показывают, что экспоненциальная зависимость (7) может реализовываться и для стабильного изотопа ^3He . Скорость роста ($\sim 1 \text{ мм}/10^3 \text{ лет}$) изменяется же от слоя к слою.

Медленная скорость роста — распространенный артефакт

Иониевым методом ($\lambda = 9.2 \cdot 10^{-6} \text{ лет}^{-1}$) для рудной провинции Кларин-Клиппертон была определена скорость роста железомарганцевой конкреции $r = \lambda/a$ в $2-8 \text{ мм}/10^6 \text{ лет}$. А это означает, что величина тангенса угла наклона (a) лежит в диапазоне $12-46 \text{ см}^{-1}$. На рис.5 для первого и третьего участков, тангенс угла наклона $b \approx 30 \text{ см}^{-1}$, т.е. эта величина попадает в диапазон значений (a). В случае регистрации вместе с ^3He и ^{230}Th можно было бы получить согласно (2) принятую для этой провинции величину скорости роста конкреции в $3 \text{ мм}/10^6 \text{ лет}$. Но данное значение ошибочно. Концентрационная зависимость ^3He показывает, что $r \neq \text{const}$ и, следовательно, выражения (1) и (2), лежащие в основе иониевого и других радиоизотопных методов, не могут использоваться для определения величины скорости роста и возраста конкреций.

Итак, медленные скорости роста глубоководных железомарганцевых конкреций ($\sim 1 \text{ мм}/10^6 \text{ лет}$), принятые в исследованиях, посвященных океаническому рудогенезу в течение примерно 35 последних лет, — досадный артефакт, возникший в результате некорректного использования радиоизотопных методов¹⁰.

Как образуются конкреции

Количественную модель формирования железомарганцевых конкреций удалось разработать на основе закономерности, обнаруженной при исследовании образцов вырезанных колонок. Два прямолнейных участка графика на рис.4 могут быть описаны формулой:

$$^3\text{He} = [^3\text{He}]_0 + \beta R, \quad (8)$$

где $\beta = 2 \cdot 10^{-12} \text{ см}^3/\text{г} \cdot \text{см}$ — тангенс угла наклона отрезка прямой, R — радиус растущей конкреции. Величина $[^3\text{He}]_0$ связана с ядром конкреции — как правило, неорганическим или органическим веществом, встречающимся в донном иле. Второе слагаемое характеризует рост самой конкреции, формирующейся вокруг ядра. Учитывая вышесказанное, можно получить следующие выражения:

$$r = \frac{F}{2\rho\beta R}; \quad t = R^2 \frac{\rho\beta}{F}. \quad (9)$$

Такая квадратичная связь между радиусом и временем характерна и для роста кристалла в растворе за счет диффузионного массопереноса. На этом основании мы разработали сорбционно-диффузионный механизм формирования, т.е. рост конкреции за счет сорбции их поверхностью при диффузионном потоке марганца, растворенного в поровой воде. На основе решения диффузионных уравнений Фика получены следующие выражения:

$$r = \frac{DC_0}{\rho f R}; \quad t = R^2 \frac{\rho f}{2DC_0}, \quad (10)$$

где $D = 2 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$ — коэффициент диффузии; $C_0 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ г}/\text{см}^3$ — концентрация марганца в поровой воде; f — среднее

⁹Ануфриев Г.С., Болтенков Б.С. // Литология и полезные ископаемые. 1997. №5. С.451—457.

¹⁰Ануфриев Г.С. // ДАН. 1999. Т.364. №5. С.683—686.

относительное содержание марганца в конкреции (для провинции Кларион-Клиппертон, по литературным данным, $f = 0.3$).

Особенность выражений (9) и (10) в том, что функциональные связи между основными параметрами — скоростью роста, радиусом конкреции, ее плотностью и временем роста — одинаковы. Иными словами, при использовании потока космического гелия, существующего в конкрециях в виде микропримесей (9), и потока основного рудообразующего элемента — марганца (10) — получаются подобные выражения. Это обстоятельство выступает сильным аргументом в пользу реализуемости в природе сорбционно-диффузионного механизма формирования конкреций. Не менее убедительны и результаты расчета скорости и времени роста при использовании этих независимых подходов. Так, для конкреции радиусом 3 см и плотностью 1.6 г/см^3 скорость роста, определенная методом космического трассера и рассчитанная по сорбционно-диффузионному механизму, составляет величины 1.2 и 0.9 мм/10^3 лет, а время ее образования — 12 и 17 тыс. лет соответственно.

Результаты, полученные при независимых подходах,

удовлетворительно совпадают (расхождение 40%). Вычисления через поток ^3He , по-видимому, более достоверны, так как основаны на непосредственных измерениях концентраций в конкреции, скорость роста и возраст которой определяются. Вычисления же через поток Mn (10) используют величины D и C_0 , полученные в других экспериментах, и поэтому совпадение с точностью до 40% можно считать вполне хорошим.

Вместо эпилога

Хорошо известна роль чистой энергии Солнца, поглощаемой водной толщей. Она определяет многие глобальные процессы на Земле. Мы исследовали как солнечное вещество попадает в океанические осадочные породы в составе космической пыли (микрометеороидов). В вещественном балансе океана его доля очень невелика, но именно она создает заметные, а по ^3He — громадные изотопные сдвиги, которые позволяют решать фундаментальные и прикладные задачи в океанологии, гео- и космохимии.

Мы акцентировали внимание на возможности использования солнечного гелия для геохронологических исследо-

ваний осадочных пород и, в частности, для определения скоростей роста и возраста глубоководных железомарганцевых конкреций. В этом направлении получено «уточнение» этих параметров в тысячу раз, иными словами, показано, что существовавшие в последние 35 лет оценки скоростей роста таких конкреций ($\sim 1 \text{ мм/10}^6$ лет) — артефакт, который приводил к существованию неразрешимого (несмотря на многие попытки) парадокса непотопляемости и других геохронологических и геохимических «нестыковок». Установление значения скорости роста примерно в 1 мм/10^3 лет и ее вариации в колонках, вырезанных из конкреции, а также анализ полученных закономерностей позволили разработать первые количественные модели механизма формирования конкреций (сорбционно-диффузионного), которые независимо подтверждают факт быстрой скорости роста.

Многие перспективные направления исследований, основанные на связи Мировой океан — космическая пыль — Солнце, еще ждут своего развития, и в этом смысле проделанная работа — только один из этапов изучения, и она далека от завершения, т.е. не имеет своего эпилога. ■

Коралловый барьер вокруг о.Таити непрерывно растет на протяжении 14 тыс. лет. Однако до сих пор никаких измерений скорости его роста не проводилось. Сейчас вертикальная толщина барьера достигает 40 м. По недавно полученным колонкам бурения было установлено, какие виды кораллов, водорослей,

моллюсков сменяли друг друга и в какой последовательности. Первые 3 тыс. лет в благоприятных климатических условиях активное нарастание барьера шло со скоростью 6 мм/год. Это — рекордная скорость роста для тропической зоны Индийского и Тихого океанов.

La Recherche, 2000. №329. P.10 (Франция).

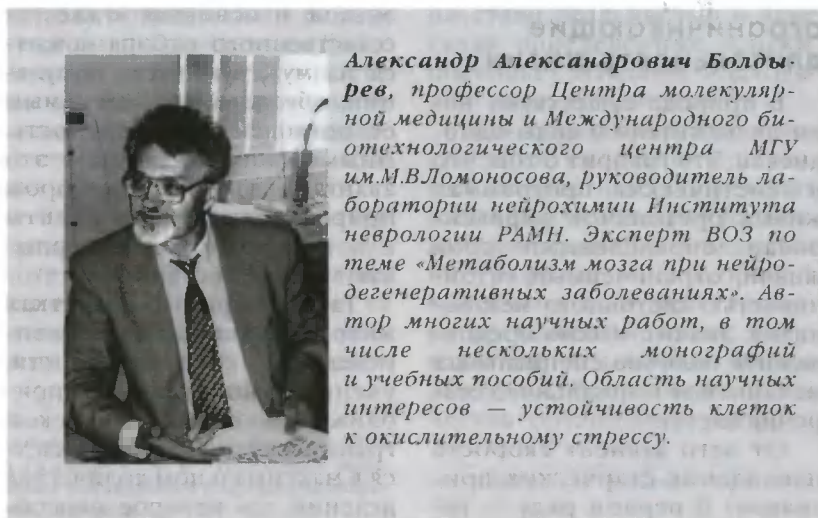
Вероятность смерти при родах или от осложнений при беременности в 200 раз выше у африканских женщин, чем у женщин из высокоразвитых стран. При абортах такое соотношение достигает 700.

Пресс релиз ВОЗ. 2.06.2000.

Биологические пределы жизнедеятельности

А.А.Болдырев

За исторически документированный период развития человечества средняя продолжительность жизни человека возросла в несколько раз. Палеоантропологи считают, что первобытный человек жил в среднем не более 24 лет. Причиной тому были и высокая детская смертность, и ежедневный риск погибнуть от когтей дикого зверя. Длительность жизни современного человека в развитых странах приближается к 90 годам. Такой прогресс объясняется большей независимостью человека от природных условий, улучшением санитарно-гигиенических норм жизни, а также успешной борьбой медицины с массовыми эпидемиями и другими заболеваниями. Достижения цивилизации, особенно явно выраженные в таких странах, как Швеция и Япония, привели к тому, что в 70-е годы XX века их жители заняли первое место по средней продолжительности жизни (78—82 года у мужчин, 86 лет у женщин). Демографы высказали предположение, что в условиях современной ци-



Александр Александрович Болдырев, профессор Центра молекулярной медицины и Международного биотехнологического центра МГУ им.М.В.Ломоносова, руководитель лаборатории нейробиологии Института неврологии РАМН. Эксперт ВОЗ по теме «Метаболизм мозга при нейродегенеративных заболеваниях». Автор многих научных работ, в том числе нескольких монографий и учебных пособий. Область научных интересов — устойчивость клеток к окислительному стрессу.

визации длительность жизни человека приближается к ее биологическому пределу, который по разным данным оценивается в 110—120 лет¹.

Однако развитие цивилизации зачастую имеет и негативные последствия — загрязнение внешней среды, приводящее к ухудшению качества воды, воздуха и продуктов питания, профессиональные заболевания, распространение новейших технологий, вредных для организма человека. Перед современной наукой

стоит задача защитить человека от этих факторов, в том числе и от болезней, преждевременно уносящих жизни людей.

В настоящее время в рамках Всемирной организации здравоохранения работает ряд международных медицинских программ по борьбе с факторами риска сердечно-сосудистых заболеваний (к ним относятся высокий уровень холестерина в пище и плазме крови, курение, психологические стрессы и т.д.). В результате наметилось некоторое снижение смертности от сердечно-сосудистых заболеваний, сократилось число

© А.А.Болдырев

Статья написана по материалам Соросовской лекции, прочитанной автором на конференции Соросовских учителей в Оренбурге (1999).

¹ Гаврилов Л.А., Гаврилова Н.С. Биология продолжительности жизни. М., 1986.

инфарктов. Однако общая смертность в исследуемых группах населения не изменилась, просто в списке «приоритетных» причин смерти одни сменились другими. Значит, борьбу за приближение к биологическому пределу жизнедеятельности современная цивилизация проиграла себе самой...

Это обстоятельство резко увеличило интерес научного сообщества к изучению механизмов и процессов старения организма — к *биологии продолжительности жизни*.

Факторы, ограничивающие длительность жизни

В природе существуют виды-долгожители и виды-однодневки. Это говорит о том, что в генетических программах живых организмов зафиксирован определенный срок жизни, ограниченный устойчивостью клеточного метаболизма. Значит, можно предположить наличие специальных механизмов нормального старения клетки².

От чего зависит скорость накопления старческих признаков? В первом ряду — генетические причины старения. Даже если речь не идет о наследственном заболевании, «записанном» в клеточном геноме, длительность жизни предопределена стабильностью генетического аппарата клеток и тканей. Анализ динамики смертности большой выборки населения позволил вычленировать две независимые компоненты этого процесса — *фоновую* и *возрастную*. Если первая может меняться под влиянием социально-экономических условий, то вторая свободна от действия внешних факторов.

Возрастная компонента смертности определяется биологическими особенностями данного вида. Например, средняя продолжительность жизни женщин, как правило, превышает таковую у мужчин. Одна из причин — стабилизирующий эффект женских половых гормонов. Действительно, сравнительные таблицы смертности разных возрастных групп мужчин и женщин демонстрируют различия только в активный репродуктивный период, которые по его окончании сглаживаются. Согласно одной из гипотез, для мужского пола характерна большая изменчивость признаков, и основная «тяжесть» естественного отбора ложится на мужскую часть популяции, обуславливая тем самым ее повышенную смертность. Иными словами, самцы — это авангард вида, на котором природа ставит эксперименты и которые быстрее исчерпывают «запас прочности»³.

Таким образом, в клетках живого организма имеется определенный запас прочности, уменьшающийся по мере приближения к биологической границе жизни. Это отражается в максимальном количестве делений, на которое способны нормальные клетки в ходе жизнедеятельности. Вредные факторы среды (в том числе и продукты обмена) будут повреждать *клеточный геном* и заставлять его продуцировать аномальные белки, ответственные за появление старческих признаков. По мере их накопления организм вступит в возраст повышенного риска смерти вследствие снижения приспособительных реакций, ослабления памяти и иммунитета, понижения работоспособности и т.д.

Такая гипотеза старения получила название «*концеп-*

ция ограниченной надежности» организмов; она соответствует многим экспериментальным фактам. Подкрепляется она и данными молекулярно-генетических исследований, в 60-е годы независимо начатых за рубежом — Л.Хейфликом, а в нашей стране — А.Оловниковым. Эти исследователи во многом способствовали пониманию механизмов, управляющих клеточным старением. Первый из ученых показал, что клетки нормальных тканей, культивируемые в искусственных условиях, способны к ограниченному количеству делений. Хейфлик предположил наличие специальных механизмов, препятствующих бесконечному размножению клеток и ставящих тем самым биологические (природные) ограничения. В опытах он использовал различные клеточные культуры (хомяка, мыши, человека) и обнаружил, что нормальные эмбриональные клетки человека в культуре делятся только 50 раз, затем наступает их массовая гибель. Феномен получил название «*лимит Хейфлика*».

Второй исследователь — Оловников — предугадал один из механизмов, ограничивающих срок жизни клеток (вскоре он был найден в живой природе). Он заключается в том, что в каждой хромосоме спираль ДНК имеет на одном конце так называемые «бессмысленные» кодоны, не несущие информации о белковых молекулах. У человека этот «хвост», *теломера*, состоит из повторяющихся шестичленных кодонов TTAGGG (тимин-тимин-аденин-гуанин-гуанин-гуанин). Бессмысленные кодоны не содержат генетической информации, но определяют число клеточных делений, приводящих к образованию жизнеспособных клеток. При каждом делении (репликации) вследствие «недорепликации»

² Мечников И. И. Этюды о природе человека. М., 1961.

³ Геодакян В. А. Эволюционная логика дифференциации полов и долголетие // Природа. 1983. №1. С.70—80.

хромосомы хвост ДНК укорачивается как «шагреновая кожа». Пока укорочение ДНК не захватывает смысловых участков генома, новые хромосомы обеспечивают нормальную работу клеток. Но как только «шагреновая кожа» сжимается настолько, что начинает затрагивать смысловые кодоны, новообразованные клетки становятся нежизнеспособными. Таков один из механизмов, регулирующих количество делений, которые может претерпеть клетка без утраты своих нормальных свойств.

Заслуга Оловникова заключалась в том, что при ограниченном наборе известных фактов он предсказал наличие фермента, компенсирующего укорочение теломера, — *теломеразы*. Этот фермент после каждого деления восстанавливает длину «бессмысленных кодонов», отодвигая тем самым появление неполноценных хромосом. В дальнейшем выяснилось, что теломераза служит мишенью для факторов, ухудшающих «качество жизни» клеток и тканей, в том числе для атакующих макромолекулы свободных радикалов, которые в неблагоприятных условиях (в том числе —

и с возрастом) образуются в клетках в избыточных количествах⁴.

Таким образом, существует механизм, ограничивающий жизнь клеток, тканей и организмов определенным отрезком времени. Можно рассуждать о мудрости эволюции, которая запрограммировала «механизм самоликвидации» живых существ, чтобы не допустить передачи потомству генетических дефектов, накапливающихся у родителей с возрастом. Однако по зрелому рассуждению мы должны прийти к выводу, что такая программа *не могла возникнуть в ходе эволюции*, поскольку потребности в ее реализации практически не было. Ведь в силу агрессивности внешней среды живые существа почти никогда не доживают до старости. Как же могла возникнуть такая программа?

В научной литературе представлено множество гипотез, которые объясняют механизмы, ответственные за появление, накопление и усиление возрастных признаков

старения⁵. Мы остановимся на *свободнорадикальной концепции*, объясняющей, как контролируются генетически обусловленные проявления повреждений и смерти клеток. Хотя механизмы, обеспечивающие биологический предел жизни, остаются неопределенными, само понимание этих процессов делает соблазнительными попытки повлиять на их течение.

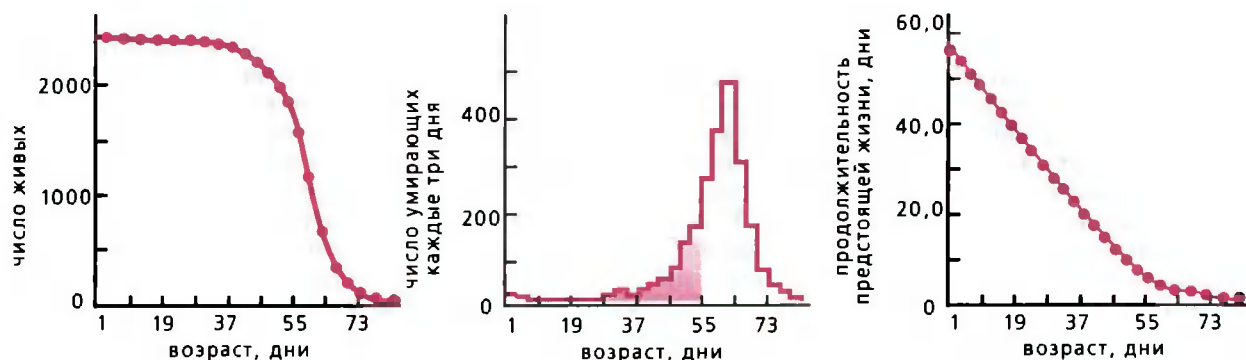
Экспериментальные модели

В настоящее время эксперименты по продлению жизни стали реальностью и даже сулят определенные успехи, поскольку найдены подходящие модели животных.

Для характеристики естественной смертности в разных возрастных популяциях животных используют различные критерии. Так, откладывая на графиках число особей, еще живых к соответствующему времени измерения, получают так называемые *кривые дожития*. Регистрируя количество организмов, умираю-

⁴Болдырев А.А., Куклей М.Л. // Нейрохимия. 1996. Т.13. №4. С.271–278; Болдырев А.А. Природные механизмы возбуждения и повреждения нейронов // Природа. 1998. №7. С.10–18.

⁵Комфорт А. Биология старения. М, 1967.



Различные способы выражения длительности жизни в популяции живых существ. Слева — возрастная зависимость смерти (кривая дожития), в середине — кривая смертности (заштрихованная цветная область — животные с укороченным сроком жизни), справа — оценка вероятности предстоящей жизни в зависимости от возраста, иначе — кривая вероятности смерти (Гаврилов Л.А., Гаврилова Н.С., 1986).

ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ

Этапы развития
организма.

щих за каждые последующие дни измерения, получают *кривые смертности*, а измеряя количество умерших животных в зависимости от возраста — *кривые вероятности смерти*. Из кривых смертности легко вывести *среднюю продолжительность жизни* и определить неоднородность популяции по этому признаку: часть животных умирает раньше своего срока (10–18%), а некоторые остаются долгожителями. Важно понять причины повышенной устойчивости долгожителей к временному фактору и выяснить, можно ли увеличить их долю в популяции.

Первые успешные опыты позволили установить два фактора, существенно увеличивающие срок жизни животных, — *гипотермию* и *ограничение калорийности диеты*. В обоих случаях средняя продолжительность жизни возросла, особенно отчетливо — если подопытные животные находились в зрелом возрасте. Это явление нельзя объяснить общим неспецифическим подавлением скорости всех реакций обмена веществ (как нормальных, так и патологически измененных). Так, животные, содержащиеся при низкой температуре, быстрее росли. Ограниченная по калорийности диета (с сохранени-

ем витаминов и минеральных добавок) не только увеличивала срок жизни, но и усиливала тканевой обмен. Кроме того, активировались ферменты *антиоксидантной защиты* клеток, препятствующие накоплению в тканях свободных радикалов и повреждению макромолекул. Полученные данные коррелировали с большей устойчивостью животных к злокачественным заболеваниям.

Действие этих факторов значительно превышало эффект разнообразных тонизирующих добавок и стимуляторов как синтетических, так и природных (зеленый чай, экстракт чеснока, гинкго и др.). Более того, они согласовывались с известными рекомендациями по закаливанию холодом и лечебному голоданию, с давних пор применяемыми человечеством. Таким образом, ценность первых успехов в области практической гериатрии (изучающей биологию продолжительности жизни) оказалась много ниже стоимости самих экспериментов. К тому же опыты требовали большого количества животных и оставались относительно длительными (средняя продолжительность жизни грызунов, обычно используемых в экспериментах, составляет 2.5–3 года).

Поскольку различия в длительности жизни имеют генетическую природу, можно попытаться создать генетически стабильные линии животных с укороченной программой старения. Такие модели весьма полезны для выяснения внутренних механизмов старения и возможного управления ими. В последнее время приняты эксперименты по близкородственному скрещиванию животных с нормальным, но сжатым во времени процессом старения. Для селекции использовали животных, имеющих более короткое время жизни, в результате чего были получены животные с меньшей продолжительностью жизни.

Один из примеров подобного отбора — устойчивая линия крыс, выведенная из лабораторных крыс линии Киото—Вистар (Новосибирский институт генетики и селекции РАН). У этих крыс старческие признаки (ослабление памяти, снижение подвижности, подавление системы клеточного иммунитета, развитие катаракты) накапливаются гораздо быстрее, ускоряя естественную гибель животных примерно вдвое. Эта линия получила название OXYS RATS, поскольку ускоренное старение было вызвано нарушением окислительного метабо-

лизма и повышением в тканях свободнорадикальных «поломок».

Другой пример — линия мышей SAM (Senescence Accelerated Mice — модель ускоренного старения), созданная в университете г.Киото (Япония). Нормальный срок жизни этих мышей чуть более одного года (12–14 месяцев) вместо положенных контрольным животным 2.5 лет. Первые случаи смерти мышей линии SAM выявляются уже в 4–5 месяцев, а к 10 месяцам погибает около 50% животных. У этих мышей также быстро накапливались возрастные изменения, приводящие к смерти (табл.1). В старческом возрасте у них снижалась реактивность, терялся блеск волосяного покрова, выпадали волосы, возникали множественные воспалительные язвы слизистой, *катаракта* и *лордокифоз* (искривление позвоночника). Интенсивное исследование животных этих линий в ряде лабораторий подтвердило, что процессы старения клеток и тканей связаны со свободнорадикальными механизмами, и открыло возможность изучения этих процессов.

Механизмы старения клеток

У экспериментатора, имеющего дело с животными, гораздо больше возможностей для исследований — в его распоряжении не только кровь, моча и физиологические тесты, но и различные ткани, которые можно использовать для характеристики клеточных мембран, различных ферментов, а также состояния хромосомного материала клеток. Изучение этих параметров в тканях стареющих животных показало, что в результате накопления ошибок в генетическом аппарате изменяются активность и свой-

ства целого ряда клеточных белков.

Выяснилось, что в мозге постаревших животных накапливается бета-амилоид, — токсичный белок, который участвует в нейродегенеративных процессах, приводящих к ослаблению умственных способностей (как при болезни Альцгеймера у людей пожилого возраста). В тканях резко возрастает количество окисленных белков и липидов, в результате взаимодействия которых образуются дефектные продукты. Например, в белках хрусталика глаза — кристаллинах — из-за поперечных сшивок возникают плотные структуры, хрусталик теряет свою прозрачность и образуется типичная старческая катаракта.

С возрастом в клетках накапливаются дефекты в хромосомном аппарате (хромосомные аберрации), нарушающие нормальное деление. Одновременно возрастает содержание конечного продукта окисления жирных кислот — малонового диальдегида, обладающего свойствами клеточного токсина. Появляются промежуточные метаболиты сахаров, они атакуют белки и присоединяют к их молекулам гликозильные радикалы. Модифицированные углеводами (*гликозилированные*) белки приобретают новые, от-

личные от нормальных, свойства. Возникают и другие нарушения клеточного обмена, которые в совокупности мешают нормальной работе клеток.

По характеру изменений обмена можно заключить, что все они имеют общий источник — накопление в клетках свободнорадикальных соединений кислорода. Такое предположение основано на том, что в старческом возрасте в тканях ослабевает система антиоксидантной защиты и увеличивается вероятность образования в клетках свободных радикалов — супероксида, гидроксида и их производных⁶.

Опыты на животных с генетически ускоренным темпом старения показали, что возрастные изменения действительно сопровождаются (и вероятно, вызываются) свободнорадикальной атакой на макромолекулы. Особенно разрушительное влияние на клетки мозга оказывают радикальные формы кислорода. Во-первых, в нейронах много легкоокисляемых жирных кислот. Во вторых, важные нейрональные белки, непосредственно участвующие в запоминании, формировании поведенческих реакций и генера-

⁶ Скулачев В. П. Кислород в живой клетке — добро и зло // Природа. 1997. №11. С.26–35; Он же // Биохимия. 1997. Т.62. С.1394–1399.

Таблица
Характеристика возрастных изменений животных с генетически ускоренной программой старения
(приведен % особей в популяции, обладающих указанным признаком)

Возраст, месяцы	контроль			SAM		
	7–8	9–10	12–14	7–8	9–10	12–14
Параметры:						
реактивность	73	50	73	25	0	7
пассивное избегание	86	75	60	63	19	13
блеск волосяного покрова	100	100	100	87	6	0
кожные язвы	0	0	0	12	44	47
воспаление слизистой глаз	0	0	0	63	88	100
язва роговицы	0	0	0	25	42	67
катаракта	0	0	0	0	0	34
лордокифоз	0	0	0	50	94	93



Внешний вид 10-месячных мышей линии SAM, содержащихся на различной диете. Вверху — с добавлением карнозина, в середине — без пищевых добавок, внизу — с добавлением гистидина и β -аланина. Видно, что внешний вид животных, получавших карнозин, наилучшим образом соответствует норме — у них гладкая блестящая шерсть, нормальная поза, эффект «красных глаз» соответствует прозрачности хрусталика. У мышей, находящихся на диете без добавок карнозина или с внесением в пищу его составных частей, наблюдается выпадение волос, понижение реактивности, воспалительные поражения кожи и слизистой, помутнение хрусталика.

ции электрических потенциалов, высоко чувствительны к действию кислорода. Это Na/K-насос, создающий ионную асимметрию на мембране нейрона, а также рецепторы, воспринимающие информацию от нейромедиатора, роль

которого во многих нейронах выполняет глутамат. При развитии окислительного стресса Na/K-насос подавляется, что уменьшает способности нейрона поддерживать ионную асимметрию и тем самым — электрическую актив-

ность. Второй тип белков — глутаматные рецепторы — при окислительной модификации, напротив, активируются. Это обстоятельство на фоне ослабленной способности нейронов генерировать возбуждение приводит к развитию токсического сигнала, который вызывает преждевременную гибель клетки.

Преждевременную ли? Как связаны между собой эти два фактора — избыточная продукция свободных радикалов и множественные нарушения метаболизма? Самый простой ответ: первое служит причиной второго. Однако тщательный анализ событий показывает, что все они вызваны нарушением генетической информации, которое лишь усиливается возникающей разбалансировкой метаболизма, когда клетки приближаются к лимиту Хейфлика. Следовательно, исчерпание биологических пределов жизнедеятельности (когда «шагреновая кожа» теломеров использована) обуславливает накопление ошибок в обмене веществ и резкий рост в тканях свободнорадикальных форм кислорода. Сигнал для клеточной смерти и есть отражение одной из таких ошибок?

Можно ли задержать процесс старения?

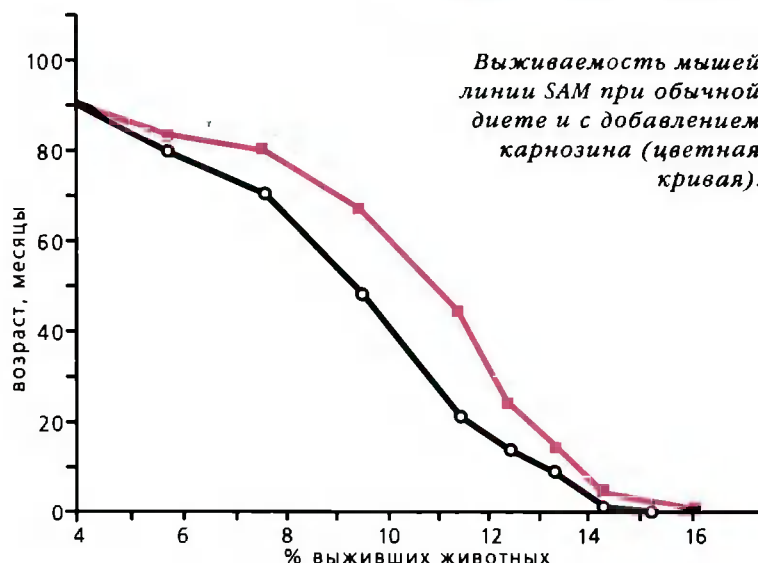
Свободные радикалы образуются при нормальной жизнедеятельности клетки, хотя и в меньших количествах. Они вызывают дефекты генетического аппарата. Число окислительных повреждений ядерной ДНК человека составляет в среднем около 10 тыс. в день (в клетках крысы, для которых характерна повышенная скорость потребления кислорода, — 100 тыс. повреждений в день). Однако в норме сво-

Болдырев А. А. // Соросовский образовательный журн. 1998. №4. С.2—9.

бодные радикалы не приносят вреда организму, поскольку в клетке существуют специальные защитные механизмы. Клеточная антиоксидантная система выполняет роль «тушителя» свободных радикалов, тем самым предотвращая их повреждающее действие. В тканях функционируют как антиоксидантные ферменты, так и низкомолекулярные антиоксиданты (витамины С и Е, каротины, карнозин и др.), которые в норме обеспечивают своеобразный баланс между образованием и нейтрализацией свободных радикалов. Нарушение этого баланса ведет к гибели клеток и самого организма. Таким образом, свободные радикалы служат маркером надежности (устойчивости) живых систем.

Значит ли это, что свободнорадикальная модификация генома всегда вредна? Наверное, нет — ведь свободные радикалы — это один из стимулов для мутаций, которые расширяют приспособительные возможности видов. Да и наличие определенной доли долгожителей в популяции свидетельствует о широкой изменчивости этого признака. Значит, можно предположить, что среди природных антиоксидантов, способных регулировать концентрацию свободных радикалов в тканях, вероятно, есть вещества, благоприятно действующие на устойчивость клеток к окислительному стрессу и расширяющие биологические пределы жизнедеятельности.

К одному из таких веществ в последнее время привлечено обоснованное внимание. Это — дипептид карнозин, природный компонент возбуждающих тканей, в которых повышено потребление кислорода и для которых чрезвычайно важна защита от окислительного повреждения. Карнозин обладает свойствами гидрофильного анти-



оксиданта, способного оградить белки, липиды и нуклеиновые кислоты клетки от окислительного стресса⁸. В экспериментах карнозин проявил себя как эффективное средство защиты животных от ишемических повреждений мозга. Он обращает на себя внимание как возможный природный протектор мозга от окислительного стресса. Может быть, это соединение способно приостановить возрастные изменения у животных, чье старение связано с окислительными повреждениями.

Действительно, изучение карнозина как возможного средства против преждевременной старости показало, что его добавление в ежедневную диету мышей линии SAM улучшает «качество жизни» животных. Снижается количество животных с лордокифозом, реже появляется катаракта. Внешний вид и физиологические реакции мышей говорят о замедлении старения, об этом же свидетельствуют и биохимические исследования⁹. Более того, средняя продолжительность жизни животных

в этой популяции выросла более чем на 20%. При этом ни средний вес мышек, ни максимальная длительность жизни популяции не менялись. Введение в диету составных частей карнозина, аминокислот гистидина и β-аланина, не оказывало положительного влияния. Значит, карнозин в этих опытах действовал не как метаболит и не вмешивался в нормальные проявления природных генетических механизмов, определяющих длительность жизни вида, а создавал лучшие условия для клеточного обмена, вероятно препятствуя окислительной поломке макромолекул. Такие свойства карнозина вполне согласуются с его известным антиоксидантным действием и косвенно подтверждают значимую роль свободных радикалов в старении. Карнозин является природным метаболитом для позвоночных животных и человека. Хочется надеяться, что это соединение будет весьма полезно в современной гериатрии и позволит увеличить число долгожителей в популяции. ■

⁸Болдырев А.А. Карнозин и защита тканей от окислительного стресса. М., 1999.

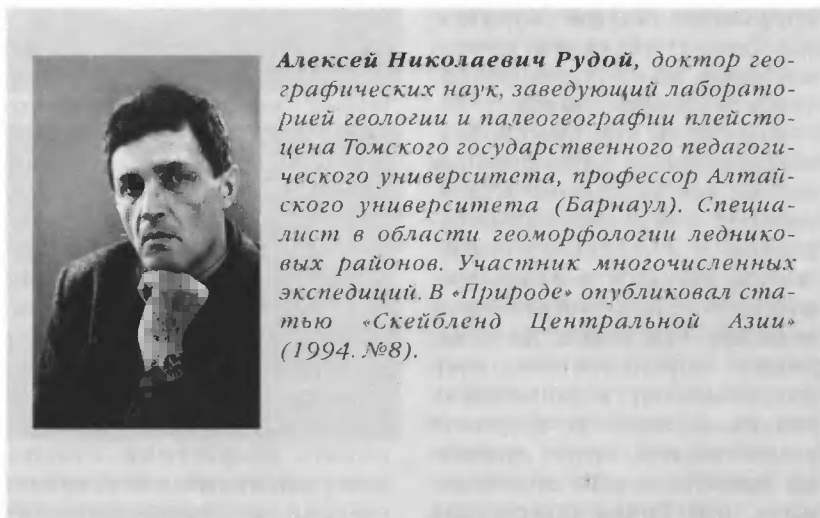
⁹Юнева М.О., Гусева Н.В. // Пробл. геронтологии. 2000. №1.

Ледниковые катастрофы в новейшей истории Земли

А.Н.Рудой

За 200 лет своего существования ледниковая теория проделала огромный путь — от реконструкций режима отдельных ледников Альп до глобальных палеогляциологических обобщений. Однако только к концу XX в. стала понятной роль гигантских паводков, обусловленных оледенениями, в формировании лика Земли. Появились геологические, гляциологические и океанологические материалы, свидетельствующие о том, что позднечетвертичные ледники полностью перекрывали полярные области Северного полушария, глубоко проникая в умеренные широты. В Северной Америке соединившиеся Лаврентийский и Кордильерский ледниковые покровы бронировали сток всех рек бассейнов Северной Атлантики и Тихоокеанского. В результате подпруживания крупнейших североамериканских рек — Колумбии, Спокана, Кларк-Форка, Флатхеда и др. — вдоль краев ледников скапливались гигантские пресноводные моря. Следы крупнейших из них — ледниково-подпрудных озер Бонневил, Миссула и Спокан — были открыты еще в конце XIX — начале XX в.

© А.Н.Рудой



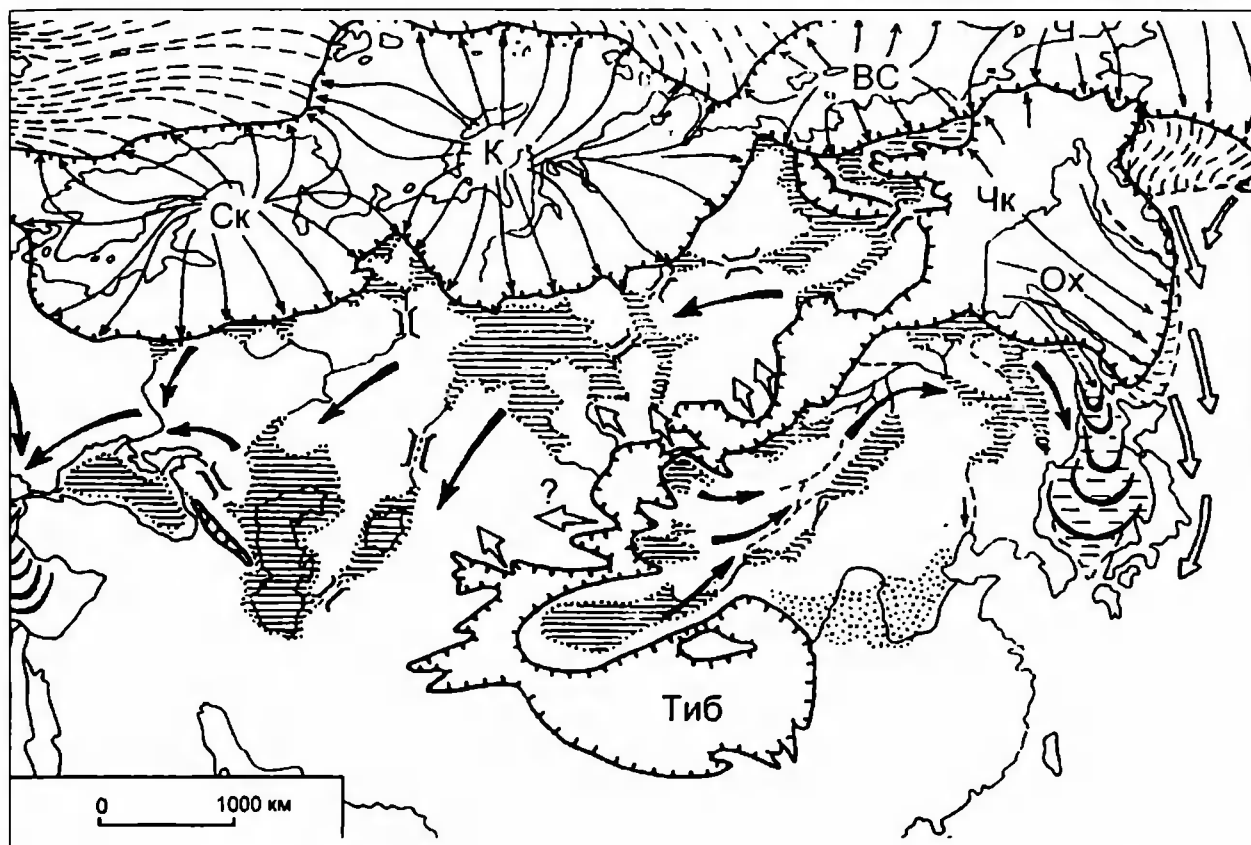
Алексей Николаевич Рудой, доктор географических наук, заведующий лабораторией геологии и палеогеографии плейстоцена Томского государственного педагогического университета, профессор Алтайского университета (Барнаул). Специалист в области геоморфологии ледниковых районов. Участник многочисленных экспедиций. В «Природе» опубликовал статью «Скейбленд Центральной Азии» (1994. №8).

американскими геологами и геоморфологами Г.Стенсбери, Г.Гилбертом, Дж.Парди и Дж.Х.Бретцем.

Особенно много работ посвящено режиму самого большого из этих озер — Миссуле в Западной Монтане. Его катастрофические прорывы продуцировали мощные паводки — фладстримы, создавшие сеть глубоких каньонов, каскады ныне сухих водопадов (огромные водобойные ванны, так называемые исполи-

новы котлы), мощные толщи промытых галечников, а также хорошо изученные сейчас гигантские знаки ряби течения. Этот рельеф — аналог обычной песчаной речной или ветровой ряби, но увеличенный в 100—1000 раз и сложенный не песком, а грубой галькой с валунами и глыбами¹. Миссульские фладстримы до начала 1980-х годов счита-

¹ Рудой А. Н. Скейбленд Центральной Азии // Природа. 1994. №8. С.3—20.



Ледниковые покровы с линиями движения и горно-долинные комплексы



Плавучие шельфовые ледники с линиями движения



Перигляциальные озера



Главные спиллвеи



Течение воды в приледниковых системах стока



Прорывы горных ледниково-подпрудных озер



Дрейф айсбергов



Моря с верхними слоями талой опресненной воды



Китайские лессы

Схема позднеплейстоценового оледенения и системы приледникового стока Северной Евразии (Гроссвальд М.Г., 1999). Ледниковые покровы и комплексы: Ск — Скандинавский, К — Карский, ВС — Восточно-Сибирский, Ч — Берингийский (Чукотский центр), Чк — Черско-Колымский, Ох — Охотский, Тиб — Тибетский

лись уникальными² и самыми мощными потоками пресной воды на Земле, их расход достигал 17 млн м³/с.

Не так давно известный отечественный гляциолог М.Г.Гроссвальд завершил свою реконструкцию, согласно которой ги-

гантский Панарктический ледниковый покров закрывал дренаж величайших рек Евразии и во фронтальных частях покрова сформировались еще более грандиозные ледниково-подпрудные бассейны, имевшие сложный гидрологический режим. Самое крупное из этих озер — позднечетвертич-

ное Мансийское — на юге Западной Сибири, при максимальных трансгрессиях оно имело площадь более 600 тыс. км². Площадь же всех ледниково-подпрудных морей равнин и плоскогорий Северной Азии, исходя из последних представлений, составляла никак не менее 3 млн км².

² O'Connor J.E., Baker V.R. // Geol. Soc. Am. Bull. 1992. V.104. P.267–279.



Рельеф гигантских знаков ряби течения на дне позднечетвертичного Курайского ледниково-подпрудного озера на Алтае. Высота отдельных гряд превышает 15 м, а длина «волны» достигает 200 м. Снимок сделан с вертолета.

Фото В.В.Рудского

Системы приледниковых стоков

В последнюю ледниковую эпоху (около 22—18 тыс. лет назад) возникали ледниковые комплексы, которые соединялись, перекрывая высочайшие горные системы Северной и Центральной Азии (от гор Чукотки, Верхоянского хребта, хребта Кодар, Байкало-Патомского нагорья, гор Южной Сибири до Тибета и Гималаев). Вместе с оледенением севера и северо-востока материка они образовали новый, ледовый, Трансазиатский водораздел, разделявший две обширные внутриконтинентальные гидрологические системы приледниковых стоков. Одна из них, Гоби-Амурская, начиналась во внутриледниковых бассейнах центрально-азиатских котловин и имела сток на восток, в бассейн Ти-

хого океана. Другая, гораздо более величественная, Транссибирская система талого стока, через сеть каналов — сбросов приледниковых озер, — часто имеющих каньонобразную форму (спиллвеев; от англ. spillway — водослив), спускалась на юго-запад, через Верхне-виллюйский, Тунгусский, Каз-Кетский, Тургайский и Узбойский каналы, в котловину Каспия и далее через Манычский спиллвей и проточные Босфор и Дарданеллы в Средиземное море и в Атлантический океан³. Тургайская ложбина стока, в частности, относится к величайшим спиллвеям мира. Возможно, что еще крупнее были параллельные прудоли-

ны огромной Манычской ложбины в Приаралье.

Эти сценарии развития природной среды в позднем плейстоцене реконструированы с помощью изотопных методов датирования ледниковых и водно-ледниковых отложений — краевых морен и озерных ленточных глин, в результате изучения ориентировки ледниковых шрамов на скальных поверхностях древних каналов стока и других особенностей рельефа на обширных территориях суши и шельфов Евразии и Америки.

Один из пусковых механизмов (триггеров) регулярных катастрофических сбросов сибирских ледниково-подпрудных морей — мощные выплески систематически поступавших на равнину талых вод из котловинных леднико-

³Гросвальд М.Г. // Материалы гляциологических исслед. 1998. Вып.84. С.121—129.

во-подпрудных озер в горах Южной Сибири. Одновременно из горных районов на север поступали порции воды объемом в десятки тысяч кубокилометров. Расходы алтайских фладстримов достигали $18 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$, т.е. они превосходили параметры миссульских паводков. Установлено, что при полном одновременном спуске всех приледниковых алтайских озер в акваторию Мансийского моря его зеркало поднималось не менее чем на 12 м, что на 4 м больше необходимого для переливания этого озера через Тургайский порог. Катастрофические спуски Дархатского и Хубсугульского ледниково-подпрудных озер в Северной Монголии не могли не вызывать такой же эффект в Енисейском подпрудном озере, в результате чего приходил в действие крупнейший сибирский Каз-Кетский спиллвей (на месте современного низкого водораздела между бассейнами рек Енисея и Оби в верховьях рек Кеть и Каз), который запускал в работу всю грандиозную систему стока пресноводных ледниково-подпрудных морей Северной Азии⁴.

Предполагается, что процессы самых крупных четвертичных котловинных ледниково-подпрудных озер Южной Сибири происходили с периодичностью около одного раза в столетие⁵, такой же была, следовательно, и периодичность сбросов поверхностного слоя воды толщиной в несколько метров из равнинных приледниковых бассейнов в бассейн Атлантики. Если же иметь в виду динамику са-

мой системы сибирских стоков⁶, можно полагать, что современный рисунок гидрографической сети равнинных территорий, испытавших четвертичное оледенение, обусловлен преимущественно климатическими, а не тектоническими причинами и на таких территориях должны были образовываться равнинные скейбленды (от англ. scab — струп, корка, короста, land — земля) — участки, где в земную поверхность врезаны многочисленные ущелья, каньоны, каналы. Последние, вероятно, не только сильно отличаются от горных⁷, но и обладают рядом специфических черт, которые позволяло отличать их от других ландшафтов. Перспективными для обнаружения дилувиальных (от лат. *diluvium* — потоп, наводнение) ассоциаций представляются, в частности, обширные территории плато Путорана, Тунгусского траппового плато и многие другие районы Средней и Восточной Сибири, где широко развиты базальтовые покровы разного возраста.

Влияние крупных приледниковых озер на земную кору — самостоятельная научная задача. С одной стороны, нагрузка толщи озерных вод глубиной в несколько сот метров могла быть не слишком весомой для заметного прогибания локальных участков континентальной коры. С другой — эта нагрузка периодически возникала и снималась очень быстро за счет заполнения и катастрофического спуска озер, что в свою очередь приводило к «расшатыванию» ограниченных участков суши и неизбежным локальным землетрясениям, трещинам и разломам в обрамлении

озерных котловин, а также обвалам и оползням. Примечательно и то, что эта периодически возникавшая «лимно-изостазия» — еще один пример реакции эндогенной составляющей геоморфогенеза на изменения внешних условий, имеющие исключительно климатические причины.

Сейсмическая нестабильность бассейнов крупных ледниково-подпрудных бассейнов, обусловленная периодическими и резкими колебаниями нагрузки на днища озерных котловин, могла служить и импульсами к ледниковым подвижкам — сёрдкам, в результате которых реки вновь подпруживались и озерные ванны вновь начинали заполняться талыми водами.

Помимо спиллвеев, многие из которых сегодня изучены и датированы, к геологическим свидетельствам транссибирских приледниковых стоков относятся известные уже более 200 лет бэровские бугры Северного Прикаспия, ложбинно-грядовый рельеф Западных Кызыл-Кумов, грядный рельеф восточной части Барабинской степи и юга Западной Сибири, а также знаменитые «древние ложбины стока» бассейна южной части равнинной Оби. За северными пределами Приобского плато эти ложбины стали известны еще в конце 1950-х годов, когда сибирский геоморфолог А.А.Земцов положил на карту спиллвеи Таз-Енисейского междуречья. Он показал, что одна из древних ложбин, частично занятая сейчас реками Тым и Сым, имеет ширину 30–40 км и протягивается на юго-запад. Другая же ложбина такого типа, Камышловский лог, ориентированная почти широтно, рассекает Ишимскую степь по линии железной дороги Омск—Петропавловск⁸. Средняя ширина этой

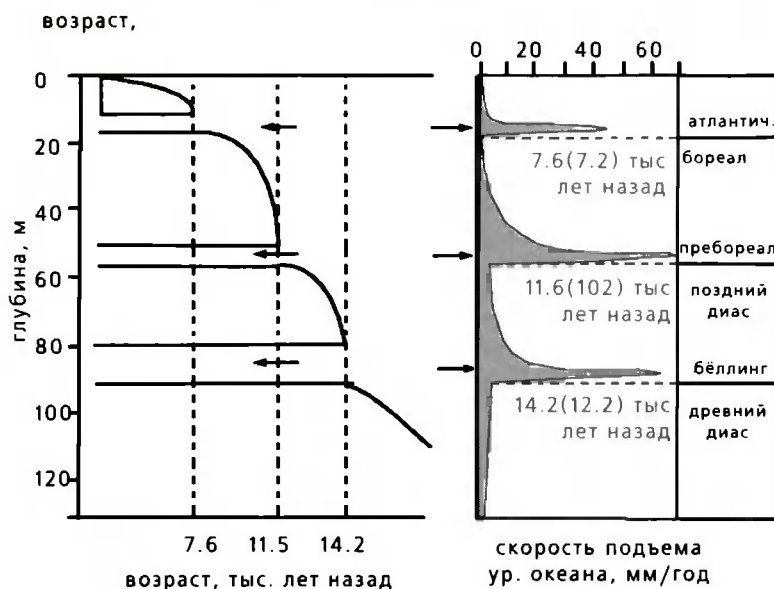
⁴ Rudoy A. N. Mountain Ice-Dammed Lakes of Southern Siberia and their Influence on the Development and Regime of the Intracontinental Runoff Systems of North Asia in the Late Pleistocene. Chapter 16 // *Palaeohydrology and Environmental Change* / Eds G. Benito, V.R. Baker, K.J. Gregory. Chichester, 1998. P.215–234.

⁵ Рудой А.Н., Галахов В.П., Данилин А.Л. // *Изв. Всесоюз. геогр. об-ва*. 1989. Т.122. Вып.2. С.236–244.

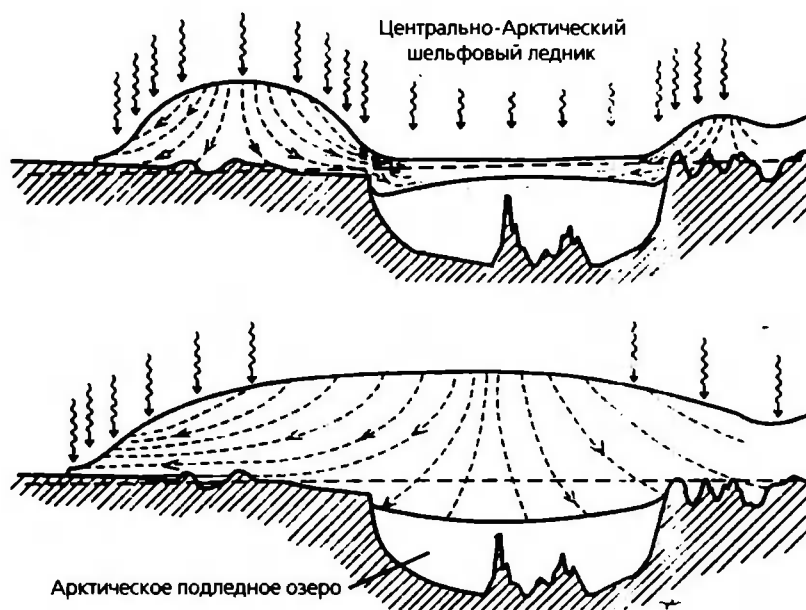
⁶ Волков И.А., Волкова В.С. Великая приледниковая система стока Сибири // *Ист. озер в плейстоцене*. Л., 1975. Т.2. С.133–140.

⁷ Rudoy A. N., Baker V. R. // *Sedimentary Geology*. 1993. V.85. №1–4. P.53–62.

⁸ Земцов А.А. Геоморфология Западно-Сибирской равнины (северная и центральная части). Томск, 1976.



Хронология гидросферных катастроф периода последней дегляциации, основанная на данных бурения рифов Карибского моря (Blanchon P., Shaw J., 1999). Слева — три эпизода катастрофического подъема уровня океана, справа — скорость подъема уровня, коррелирующая с рубежами резких потеплений.



Эволюция Панарктического ледникового покрова после замыкания пролива Фрама (Гросвальд М.Г., 1999). Вверху — начало роста Центрально-Арктического шельфового ледника; внизу — стадия единого сверхщита с вершиной у Северного полюса. Высота до 4–5 км.

ложбины достигает 25 км при глубине около 20 м, лог имеет падение в 30 м на юго-запад по простиранию.

Несмотря на обширность сведений, далеко не все детали функционирования приледниковой Транссибирской системы катастрофических стоков выявлены надежно. Многие факты по-прежнему трактуются некоторыми геологами и палеогеографами неоднозначно. Тем не менее сегодня никто не отрицает, что «древние ложбины стока» были руслами сильных водных потоков. Большинство исследователей связывает их с таянием позднечетвертичных (сартанских) ледников, с которыми коррелируют как речные террасы Енисея и Оби, так и аллювий самих ложбин.

К дилuviальным и ледниково-подпрудным флювиальным ассоциациям регрессивной фазы сартанского оледенения относятся «лимноподобные» отложения Ангары и Енисея, выделенные еще в 1971 г. геологом С.А.Лаухиным (но правильно понятыми лишь в конце 90-х годов⁹), а также мощные ритмично слоистые песчаные толщи Забайкалья.

Совсем недавно удалось датировать интервалы катастрофических подъемов уровня Мирового океана, связанных с коллапсами позднечетвертичных ледниковых щитов и совпадавших по объему со слоем сброшенных в океан холодных вод. Как отмечает Гросвальд, объемы единовременных поступлений воды в океан были настолько велики, что они просто не могли не оставить свидетельств в строении коралловых рифов тропического и экваториаль-

⁹Yamskikh A.F. Late Pleistocene and Holocene Siberian River Valley Geomorphogenesis as a Result of Palaeogeographical Cyclic Changes. Chapter 9 // Palaeohydrology and Environmental Change / Eds G.Benito, V.R.Baker, K.J.Gregory. Chichester, 1998. P.112–124.

ного поясов. По результатам изотопных анализов (^{14}C и U/Th) рифов *Acropora palmata* в Карибском бассейне американские исследователи установили три таких эпизода, которые накладываются на плавную кривую подъема уровня океана во время последней дегляциации. Они совпадают с началом беллинга (12 тыс. лет назад), с началом пребореала (10 тыс. лет назад) и с началом атлантического времени (около 7 тыс. лет назад), т.е. приходятся на этапы резких потеплений климата¹⁰.

Регулярные и катастрофические сбросы талых вод из ледниково-подпрудных морей Северной Азии в бассейн Атлантического океана (общим объемом около 25–30 тыс. км³) вызывали резкие колебания зеркала Арала–Каспия и Черного моря. Они запечатлены, в частности, в строении озерных террас впадины Каспийского моря и в литологии донных отложений Средиземного моря¹¹. Однако эти сбросы не могли существенно влиять на колебания уровня Мирового океана в целом, даже если полагать, что азиатские приледниковые подпрудные бассейны опорожнялись одновременно с приледниковыми озерами Северной Америки. Для повышения океанического уровня на 10–15 м, что соответствовало интервалам катастрофических подъемов океана, был необходим источник воды, как минимум в 100 раз превышавший по объему суммарный объем всех ледниково-подпрудных бассейнов суши и способный поставлять в океан единовременно не менее 1 млн км³ воды. Таким источником Гросвальд предложил считать подледниковые воды огромного Центрально-

Арктического ледникового купола — части Панарктического ледникового покрова. Именно эти воды, которые из-за ледовой нагрузки «выдавливались» в океан и на евразийскую сушу, могли обеспечивать водную массу и энергию глобальным катастрофическим потокам¹².

Эта гипотеза удовлетворительно объясняет катастрофические поступления огромных масс холодных вод в систему глобального водооборота. Она представляется правдоподобной еще и потому, что на локальном уровне сценарий возникновения подледниковых озер еще 15 лет назад был реконструирован для «наледных» котловинных ледоёмов гор на юге Сибири.

¹²Гросвальд М. Г. Евразийские гидросферные катастрофы и оледенение Арктики. М., 1999.

Ледоемы или водоемы?

Термин «ледоём» в начале 30-х годов предложил советский геолог В.П.Нехорошев. Он считал, что межгорные впадины Алтая и Саян в максимальные фазы оледенений полностью занимали ледники, спускавшиеся с окружающих гор, т.е. впадины становились гигантскими ледоемами, которые начинали функционировать как самостоятельные центры оледенения. Эти центры питали мощные долинны ледники в выходящих из ледоемов речных долинах. Четвертичные ледоемы Нехорошева были восстановлены для многих межгорных впадин — Улаганской, Джулукульской и др. Эти реконструкции прежде всего базировались на том, что на дне котловин форми-

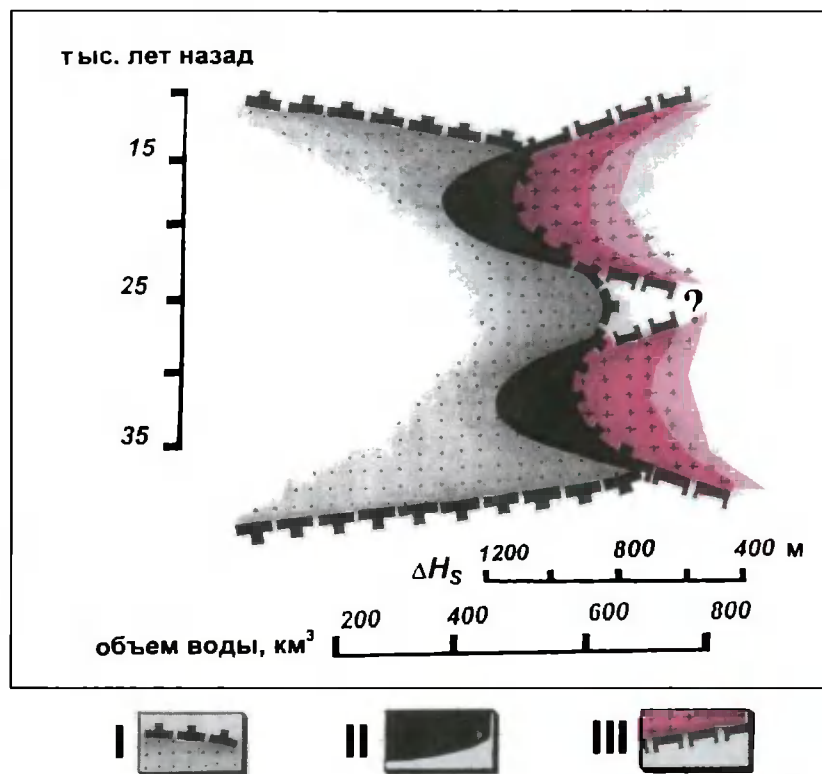
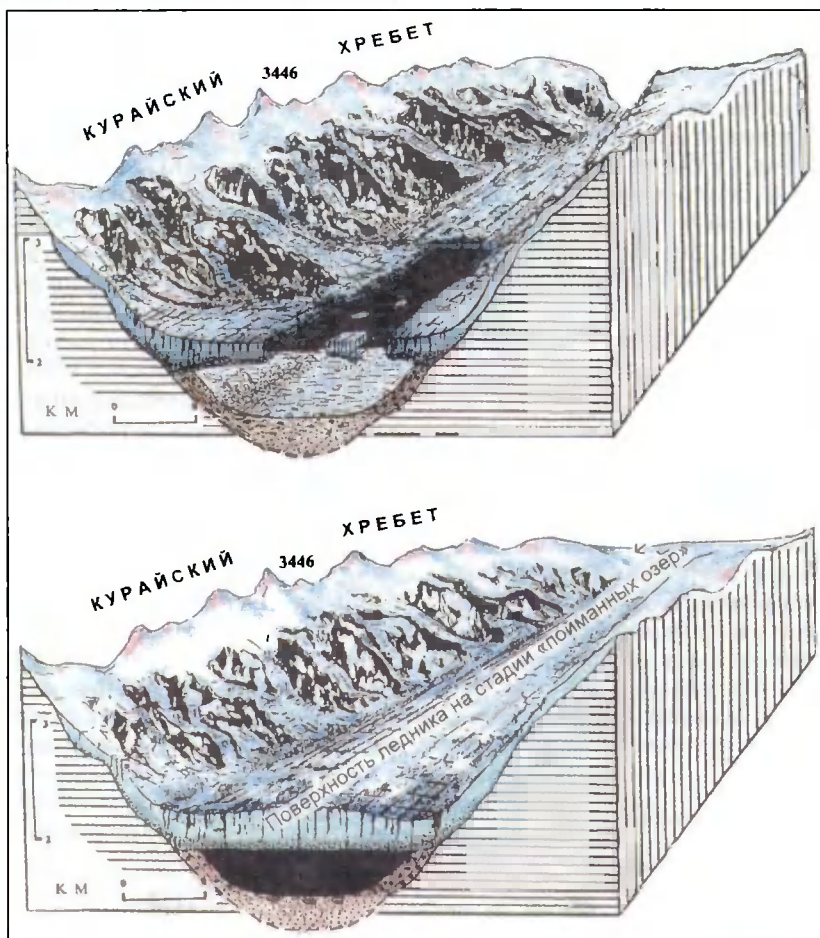


Схема формирования «наледных» ледоемов в бассейне Чуйской межгорной впадины на Алтае. I — этап водоема; II — этап «наледного» ледоема; III — динамика снеговой линии ΔH_s .

¹⁰Blanchon P., Shaw J. // Geology. 1995. V.1. №1. P.4–8.

¹¹Свиточ А.А., Янина Т.А. Четвертичные отложения побережий Каспийского моря. М., 1997; Thiede J. // Nature. 1978. V.276. №5689. P.680–683.



Формирование «пойманных» озер в межгорных котловинах Южной Сибири. Вверху — трансгрессия ледниково-подпрудного озера в межгорных впадинах, синхронное наступанию ледников. При понижении снеговой линии до 800 м ледники достигали уровня озера в котловинах и всплывали (25–22 тыс. лет назад); внизу — соединившиеся на плаву «шельфовые» ледники полностью бронировали поверхность ледниково-подпрудного озера, которое превратилось в «пойманное» (22–20 тыс. лет назад).



Осень в сибирских горах.

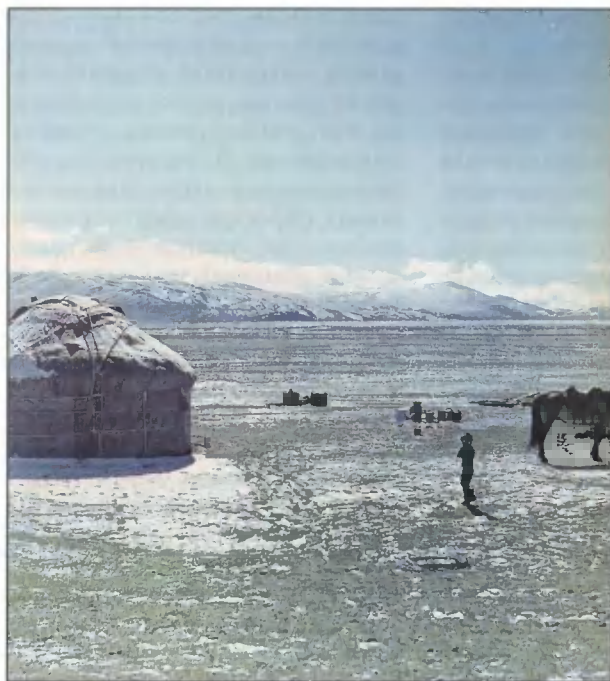
Здесь и далее фото автора



Современные ледники Алтая — лишь остатки мощного ледникового покрова, некогда сплошь облекавшего этот регион.



Следы колебаний уровня современного приледникового озера.



Песчаная Чуйская степь — дно обсохшего озера.



Ленточные глины — волнисто-слоистые отложения заливов древних приледниковых озер.

ровались морены и водноледниковые образования — камы и озы. Но в некоторых котловинах, например в Чуйской и Курайской, такие формы обнаружены не были. К тому же на склонах этих котловин сохранились озерные террасы. Значит, впадины служилиместилищем для озерных вод, которые как будто не оставляли места для ледников. Поэтому к началу 80-х годов алтайские котловины считали либо четвертичными ледоемами, либо древними ледниково-подпрудными озерами.

Не так давно выяснилось, что существование ледоемов Нехорошева, называемых теперь классическими, — это лишь один и далеко не самый распространенный вариант истории межгорных впадин, поскольку расчеты объема талого ледникового стока показали, что к моменту кульминации оледенения ряд крупных межгорных впадин уже был занят подпрудными озерами¹³.

Сегодня известно, что взаимоотношение ледников и ледниково-подпрудных озер развивалось в Южной Сибири по нескольким схемам (в зависимости от морфологии межгорных впадин, высоты снеговой линии в окружающих горах). О первой схеме возникновения ледоема без озера мы уже говорили.

Когда на поверхности большого ледниково-подпрудного озера спустившиеся с гор ледники сливались на плаву (превратившись в «шельфовые»), водоем и ледоем начинали существовать одновременно. При этом возникали так называемые пойманные озера (англ. — catch lakes). При их сбросах из-за возможного подледного выдавливания воды глетчерные льды опускались на дно и представляли известные геологические формы «мертвых льдов»,

а также проецировали на дно ранее сформированные на поверхности «шельфовых» ледников озы и камы. Это второй вариант возможной истории межгорных впадин.

Третий — формирование «наледных» ледоемов. Когда граница питания ледников опускалась ниже зеркала озер, в бассейнах озерных впадин возникали сложные образования, состоявшие из мощной линзы талых вод, бронированных озерными, наледными и глетчерными льдами, а также снежно-фирновой толщей. Поверхности озер вовлекались, таким образом, в зону питания ледников и становились новыми ледниковыми центрами с почти радиальным оттоком льда.

И наконец, четвертая схема — ледниково-подпрудное озеро.

Однако при различных масштабах оледенения в разное время одни и те же котловины «переживали» разную последовательность озерно-ледниковых событий.

Любопытным подтверждением гипотезы «наледных» ледоемов стали итоги полевых исследований современных озер в оазисах Антарктиды. По данным В.И.Бардина и других российских гляциологов, в одном из крупнейших антарктических озер — Ванде, — существующем преимущественно в подледном режиме, при среднегодовой температуре воздуха у поверхности до -20°C , придонные слои воды нагреваются до $+25^{\circ}\text{C}$. Озерный лед мощностью около 4 м не только своеобразный экран, защищающий водоем от низких температур и ветра, но и природная ледяная линза, увеличивающая тепловой эффект интенсивного притока прямой солнечной радиации, составляющей летом до $170 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{час}$. Отечественный геофизик М.С.Красс показал, что короткопериодические колебания климата воз-

действуют в основном на мелкие водоемы антарктических оазисов, но практически не влияют на инерционный тепловой режим крупных озер. При дальнейшем понижении границы питания, ниже уреза озер, вода в последних, как показывают уже примеры алтайских «наледных» ледоемов, может сохраняться очень долго за счет тепла, накопленного ранее. По мере же накопления на поверхности замерзших озер снежно-фирновой толщи и ее преобразования они оказываются вне пределов влияния сезонных колебаний температуры воздуха, т.е. превращаются в подледные водяные линзы. Вероятные аналоги именно такой, кульминационной, фазы развития «наледных» ледоемов — огромные подледные водоемы, обнаруженные геофизиками под 3–4-километровой толщиной ледникового покрова в Центральной Антарктиде.

Механизм энергичного выдавливания подледных озер и морей под огромной ледниковой нагрузкой становился, по-видимому, преобладающим на кульминационных стадиях оледенений. В частности, дилuviальные каналы подледниковых сбросов, сформировавшиеся под позднеплейстоценовой (висконсинской) ледниковой лопастью, описывают американские гляциологи Т.Бреннарда и Дж.Шоу¹⁴. Геолог Я.Пiotrowski исследовал подледные формы на германском побережье Северного моря. Здесь под ледниковой нагрузкой позднечетвертичное подледниковое озеро Столпер было выдавлено в море, при этом образовались глубокие каналы, крупнейший из которых — Борнхёвд¹⁵, располагавшийся тогда ниже современного уровня моря почти на

¹³ Рудой А. Н. // Изв. Всесоюз. геогр. об-ва. 1990. Т.122. Вып.1. С.43–52.

¹⁴ Brennard T.A., Shaw J. // Canadian J. Earth Sci. 1994. V.31. №3. P.505–521.

¹⁵ Piotrowski J.A. // Sedimentary Geology. 1994. V.89. P.107–141.

200 м, имел глубину в 222 м при длине почти 13 км. Таким образом, новая гипотеза существования арктического подледникового озера, возникавшего в центральной впадине Северного Ледовитого океана после замыкания пролива Фрама, объясняет гидросферные катастрофы Земли на глобальном уровне.

Катастрофические потоки на других планетах

Благодаря успехам геоморфологии и сравнительной планетологии аналоги земных гидросферных катастроф обнаружены и на других планетах¹⁶. Так, прямолинейные каналы-пропасти Касэй, Маджа, Арес и Тиу на Марсе по строению весьма напоминают долины некоторых земных водотоков с характерными русловыми формами (но на порядок превышающими последние по размерам) — останцами обтеkania, островами, дельтами и т.п. Они имеют до 2 тыс. км в длину при ширине до 100 км; у них мало притоков, и они удалены друг от друга на тысячи километров. Марсианские каналы меньших размеров (шириной до 15 км при длине 100—200 км) морфологически подобны описанным выше. Визуально каналы этого типа весьма похожи на ущелья-кули

североамериканского скейбленда, а также на некоторые так называемые транспуторанские долины Средней Сибири, долины-бреши гор Быранга и глубокие каньоны Алтая и Саян. Очень характерен для земных прорывных диллювиально-эрозионных каналов и морфологический облик флювиальной системы марсианской долины Нергал. Возраст марсианских наводнений гораздо древнее земных, катастрофические паводки трансформировали поверхность Марса ранее 1 млрд лет назад, когда на планете существовали совершенно отличные от современных гидроклиматические условия.

Расходы катастрофических водных потоков, сформировавших марсианские каналы-пропасти, оцениваются от 10^8 м³/с до 10^9 м³/с. Мощность этих потоков должна была значительно превышать мощность земных фладстримов. В связи с этим несравненно большую, по сравнению с Землей, роль в формировании марсианских каналов должны были играть, наряду с донной эрозией, процессы кавитации, т.е. процессы суперэнергичной эрозии и эвразии (эрозии, обусловленной донным вращением вертикально падающей воды) ложа потоков при контакте с находящейся в состоянии «холодного кипения» турбулентной смесью воды и водяного пара. Такие мощные водные потоки могли, вероятно, оказывать влияние и на климат, вызывая при этом ряд связанных с ним глобальных геоморфологических ре-

акций. Сейчас можно констатировать, что научное содержание понятия «скейбленд» еще более расширяется. Если не так давно под скейблендами понимались территории ледниковой и приледниковой зон, подвергающиеся или подвергавшиеся ранее многократному воздействию катастрофических потоков из прорывавшихся ледниково-подпрудных озер, то сегодня происхождение скейблендов можно связывать и с внезапным таянием криолитосферы, и (или) катастрофическими прорывами вод под мерзлотой и между ее слоями как на Земле, так, в частности, и на планете Марс.

Не могу не согласиться со словами российского географа и гляциолога В.М.Котлякова, который считает, что реальные события истории Земли оказываются гораздо увлекательнее самых неожиданных сюжетов фантастов. Ледниковая теория приобретает сегодня совершенно новое, космическое, звучание. Человечеству открываются новые яркие черты ледникового периода — гидросферные катастрофы. Таким образом, многочисленные мифы и легенды о Всемирном потопе, донесенные до нас памятью предков, получают, наконец, объективную и документальную основу.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Гранты 97-05-65878, 00-05-65115. ■

¹⁶Марченко А.Г. История формирования устья долины Арес (Марс) // Природа. 1997. №12. С.57—61; Rudoy A. N. Earth analogues of the channels on Mars / The 30th Int. Microsymp. on comparative Planetology. Moscow, October 8—9, 1999. P.91—92.

Убсунурская котловина: путешествие в пространстве и времени

Е.Г.Петрова, А.В.Петров,
кандидаты географических наук
Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

Летом 1999 г. вместе с коллегами из Института географии РАН и Всероссийского научно-исследовательского института лесных

© Е.Г.Петрова, А.В.Петров

ресурсов мы побывали в Убсунурской котловине, где изучали возможности развития экологического туризма, под которым большинство исследователей ныне понимает не столько отдых, сколько полу-

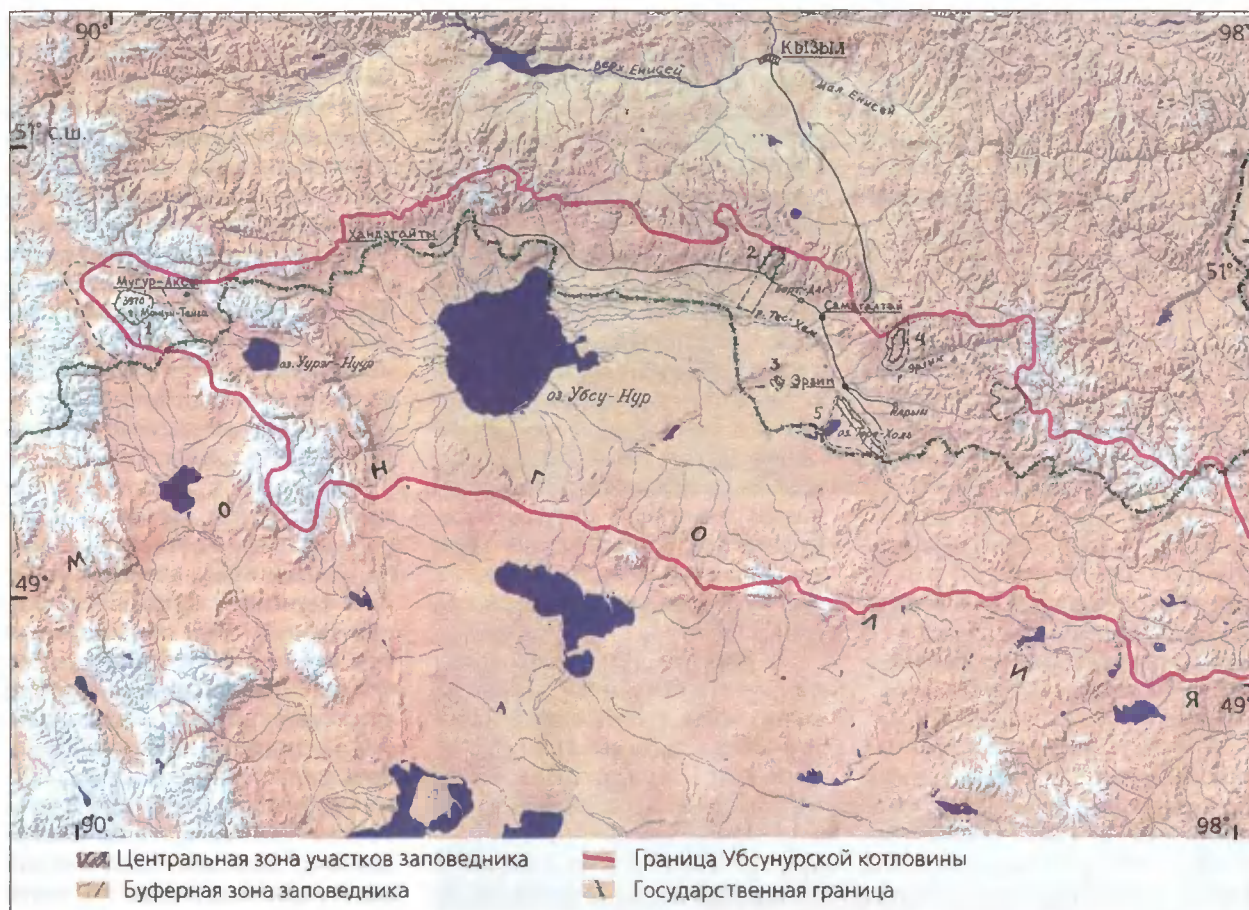
чение знаний о конкретной территории и об окружающей среде в целом.

Расположенная в самом центре Азии, на границе Республики Тува и Монголии, Убсунурская котловина давно



Общий вид котловины с хребта Сангилен.

Здесь и далее фото авторов



Карта-схема Убсунурской котловины, составленная Т.А.Золиной. Цифрами на карте обозначены кластерные участки заповедника: 1 — Монгун-Тайга, 2 — Арысканныг-Хем, 3 — Ямаалыг, 4 — Улар, 5 — Цугер-Эл.

привлекала к себе внимание ученых. Это, пожалуй, единственное место в мире, где почти все природные зоны Земли сходятся на относительно небольшой по площади территории; с севера на юг котловины тянется всего на 160 км, с запада на восток — на 600 км. Днище котловины (1000 м над ур.м.) занято песчаными и глинистыми пустынями, их сменяют опустыненные и сухие степи. Выше по склонам они переходят в лесостепи, а на высотах 1500—2300 м — в лесной пояс. В нем (в основном по северным склонам) леса — смешанные, по долинам рек — лиственничные, еловые, тополевые, в других местах — кедровые. В высокогорном по-

ясе господствуют горные тундры, а там, где скапливается снег и выходят грунтовые воды, развивается луговая растительность. И наконец, высоко в горах можно увидеть снежники и ледники.

Такое разнообразие ландшафтов обязано своим возникновением уникальному географическому положению котловины. Со всех сторон она окружена горами: с севера — хребтами Восточный и Западный Танну-Ола и нагорьем Сангилен; с юга — хребтами Булан-Нуру и Хан-Хухей; с запада — хребтом Цаган-Шибэту и массивом Турган-Ула (Монгольский Алтай); наконец, с востока котловину замыкает водораздел с бассей-



Наскальный рисунок времен палеолита.

ном р.Дэлгэр-Мурен. Роль «внутреннего моря», куда стекают все воды с гор, выполняет соленое оз.Убсу-Нур, давшее название всей котловине. Замкнутый характер котловины обуславливает ее микроклимат: тепло и влага распределяются неравномерно. Дно сильнее прогревается солнцем, чем склоны и вершины окружающих гор, вместе с тем на них переносится большее количество осадков.

Не случайно Убсунурскую котловину называют природной биосферной лабораторией, где в миниатюре можно наблюдать процессы, формирующие биосферу всей нашей планеты. С начала 1980-х годов здесь проводятся международные научные исследования в рамках программы «Эксперимент "Убсу-Нур"»¹, а в 1992 г. на их основе был организован Убсунурский международный центр биосферных исследований под эгидой Сибирского отделения РАН и правительства Республики Тува.

В 1992 г. в российской, а в 1993 г. — в монгольской части Убсунурской котловины были созданы заповедники, имеющие кластерную (разрозненную) структуру. Российский состоит из пяти участков, наиболее ярко представляющих основные типы экосистем региона. Самый западный, наиболее удаленный от других и наиболее труднодоступный — Монгун-Тайга. На высоте 3970 м здесь лежат вечные снега и крупные ледники — необычный феномен для такого аридного района. Ниже ледника — альпийские мохово-лишайниковые луга, а по долинам — леса из карликовой березы и кустарниковой лапчатки. Здесь еще сохранился такой редкий вид, как снежный барс, встречаются

сибирская косуля, алтайский архар (самый крупный баран в мире), серый сурок. Среди птиц наиболее интересны алтайский улар, альпийская белая куропатка, бородач, черный гриф и полосчатый гусь.

На южных склонах хребта Восточный Танну-Ола располагается кластер Арыскангы-Хем с участками горных тундр, субальпийских лугов, горной тайги и в более низких местах — лесостепи. Здесь обитают как типично тундровые виды животных и птиц — дикий северный олень, белая куропатка, монгольский зук, так и таежные виды — марал, бурый медведь, рысь, глухарь и неясить.

В горном массиве Сангилен, на восточной окраине котловины, расположен кластер Улар с таежными, лесотундровыми и тундровыми группировками растительности (это самые южные в мире тундры). Животный мир отличается богатством и разнообразием: встречается снежный барс, бурый медведь, кабан, россомаха, волк, рысь, выдра, куница, соболь, барсук, колонок, кабарга, сибирская косуля, марал, северный олень, а из птиц — глухарь, рябчик, тетерев, кедровка.

Самые северные в мире песчаные пустыни представлены в кластере Цугер-Элс. Здесь можно наблюдать весь комплекс песчаных дюн — от полностью лишенных растительности и развеваемых ветром до закрепленных караганой и другими пустынными растениями. Обитатели этих мест: заяц-толай, мохноногий тушканчик, джунгарский хомячок и редкий вид — хомячок Роборовского, длиннохвостый суслик, из пресмыкающихся — пестрая агама, песчаный удавчик, из птиц — степная и бородачатая куропатки, дрофа; на незакрепленных песках встречается полуденная песчанка и местами, ставший ред-

ким, тарбаган. В буферной зоне этого участка располагается уникальное пресное оз.Торе-Холь — настоящее птичье царство. На его берегах отмечены гнездовья красного ястреба, черного коршуна и серой цапли, много видов водоплавающих птиц: лебеди, гуси-гуменники и серые, большие бакланы, озерные и сизые чайки, изредка отмечались черноголовые хохотуны. В период пролета обычны белые цапли, серые журавли, различные виды куликов.

Наконец, кластер Ямаалыг представляет собой своеобразный гранитный остров среди полого-волнистой степной равнины. Орнитологический комплекс останцовых гор и скал также достаточно богат. Особую ценность представляют редкие хищные — сокол-дербеник, сокол-балобан, сапсан, орел-змееяд, широко распространены пустельга обыкновенная и курганник. Нередки пустынный сыч и филин. В южной части массива расположен целый комплекс культурно-исторических памятников — свыше 400 курганов и каменных стел 2—1-го тысячелетий до н.э.

Путь из Москвы в Убсунурскую котловину, конечно, неблизкий. Сначала шесть часов на самолете до столицы Республики Тува — Кызыла. Именно здесь находится географический центр Азии и берет начало великая сибирская река Енисей. Потом еще шесть часов на машине до пос.Эрзин, где располагается администрация заповедника «Убсунурская котловина». Но мы ни разу не пожалели о том, что забрались в такую даль.

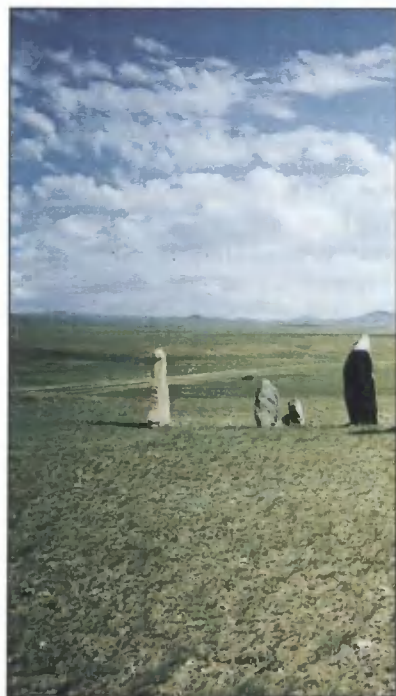
Переночевав в конторе, мы сразу же отправились в ближайший к Эрзину кластер Цугер-Элс и неожиданно оказались в жутковатой барханной пустыне. Но стоит только подняться на вершину бархана, ощущение затерянности в песках рассеивается: всего в не-

¹ См.: Эксперимент «Убсу-Нур». Пушино. 1986; Убсунурская котловина — природная модель биосферы. Пушино. 1990.

скольких километрах — зеленая степь и поселок, а на горизонте — горы. Вечером мы расположились палаточным лагерем на берегу Торе-Холь. Вода в нем оказалась удивительно чистой и прозрачной, а берега и дно сложены великолепным мелким песком. Первый вечер у костра — и, по совету наших тувинских друзей, приносим обязательную жертву местному божеству Бурхану: чтобы экспедиция оказалась удачной, нужно бросить в огонь немного пищи и питья.

На следующий день нас ожидало путешествие не только в пространстве, но и во времени. Отправляясь в Убсунурскую котловину, мы, конечно, читали о многочисленных здешних археологических находках, но увиденное превзошло все ожидания. Прямо посреди степи, на высокой террасе р.Тес-Хем, перед нами предстали древние курганы, к одному из них тянулась цепочка стел с выбитыми на

Каменные стелы в степи.



Самая северная в мире песчаная пустыня в кластере Цугер-Элс.



Горная тундра на вершине хребта Восточный Танну-Ола.

Гранитный остров посреди степей (Ямаалыг).



камне изображениями диковинных животных.

Эту территорию заселяли еще с каменного века. Только в северо-восточной части котловины обнаружено 183 памятника, насчитывающих более 3000 объектов различных эпох: курганов, могил, поминальных сооружений, изваяний, стел, поселений, временных стоянок, петроглифов². В верхнем палеолите (40—10 тыс. лет назад) южные склоны Танну-Ола были освоены небольшими по численности группами бродячих охотников, добывавших крупных копытных животных в горно-таежной и лесной зонах. В котловине обнаружено девять стоянок этого периода, на которых были найдены остатки древних каменных орудий: ножей, резцов, скребков. В бронзовый век (конец 2 — начало 1-го тысячелетия до н.э.) в долине Тес-Хема уже было распространено скотоводство. К этому периоду как раз и относятся херексуры — курганы или целые их группы (с округлыми каменными насыпями, кольцевыми или квадратными оградами), соединенные перемычками. Они встречаются в котловине практически повсеместно. Размеры наиболее крупных херексуров — от 20 до 120 м в диаметре. Установленные возле некоторых из них одиночные стелы или ряды стел (среди которых можно найти «оленные камни» с изображением козлов и оленей) — не что иное, как поминальные памятники, свидетельствующие о заслугах похороненного здесь человека: чем больше стел, тем больше охотничьих и боевых побед. Есть в котловине и неолитические стоянки, и курганы железного века (1-е тысячелетие до н.э.), па-

мятники хуннского времени, а также поминальные сооружения, каменные курганы и наскальные изображения древнетюркского времени (VI—X вв. н.э.), захоронения и стоянки средневековья. И увидеть все эти бесценные свидетельства прошлого можно не в музее, а прямо под открытым небом, в их естественном окружении.

Достойным завершением этого дня стал ночлег у подножья горы Улуг-Хайыракан-Даг. Здесь находится священный для тувинцев источник Ак-Хайыракан, где оборудована специальная стоянка. По преданию, его вода излечивает все болезни. Можно также загадать желание, привязав к ветке растущего поблизости дерева ленточку. Но чтобы духи источника не прогневались, нужно не шуметь, не мусорить, не пачкать воду. Многие озера и источники, горные вершины и перевалы издревле вызывали у тувинцев чувства поклонения, приобретая культовое значение.

Основным видом хозяйственной деятельности вот уже много веков остается кочевое скотоводство. Оно в наибольшей степени приспособлено к местным природным особенностям. Разводят в основном овец, а также коз, крупный рогатый скот, лошадей, сарлыков (яков). Здесь можно встретить и верблюдов, которых тувинцы всегда содержали круглогодично на подножном корму. Для зимних стоянок кочевники традиционно выбирали горные степи и южные склоны лесного пояса, для весенних — хорошо обогреваемые склоны южной экспозиции. Летними пастбищами служили верхняя часть горно-степного пояса и альпийская зона, верховья крупных рек, а осенними — днище котловины с богатой травой и хорошим водоемом. Сезонная смена пастбищ не только

позволяла лучше обеспечить животных кормами, но и давала возможность растительности восстановиться, уменьшала ее вытаптывание скотом и уплотнение почв, не приводила к развитию эрозионных процессов.

За последние десятилетия кочевки на дальние расстояния значительно сократились, наиболее интенсивно стали использоваться весенние и осенние пастбища в долинах рек и предгорьях вблизи населенных пунктов. Основную нагрузку испытывают при этом места водоемов — возле колодцев, на берегах рек и озер. Использование долинных пастбищ в зимнее время и современные кочевки на машинах приводят к возникновению большого количества грунтовых дорог, особенно многочисленных около поселков. В результате всех этих изменений, например, вокруг поселка Эрзин полная деградация пастбищ отмечена на площади 150 км². До придания территории заповедного статуса здесь велась и вырубке леса. Однако пока антропогенные преобразования затрагивают лишь небольшую часть территории Убсунурской котловины.

Здесь зарегистрированы 81 вид редких и исчезающих птиц, 22 редких вида млекопитающих (два из них — красный волк и снежный барс — внесены в Красную книгу Международного союза охраны природы, а также — России и Тувы). Здесь обитает большое число эндемичных видов (среди них — песстрая круглоголовка, глазчатая ящурка, узорчатый уж, ящурка Пржевальского, 16 видов жуков).

С 1998 г. обсуждается вопрос о включении Убсунурской котловины в Список всемирного культурного и природного наследия ЮНЕСКО. Во всем мире таким статусом обладают всего 128 природ-

²Худяков Ю. С. Динамика эйкуменизации северо-востока Убсунурской котловины // Эксперимент «Убсу-Нур». Пуцдино. 1986. С.230—247; Кызласов Р. Л. Древняя Тува. М., 1979.

ных и 22 природно-культурных объекта. Среди них — Большой Барьерный риф и Галапагосские о-ва, Большой каньон и Ниагарский водопад. В России этот международный статус уже получили пять природных объектов: девственные леса Коми, вулканы Камчатки, Алтай — Золотые горы, бассейн озера Байкал, Западный Кавказ. На своей последней сессии (1999) Комитет по всемирному культурному и природному наследию признал универсальную ценность Убсунурской котловины, и уже в этом году она, видимо, войдет в список территорий, охраняемых ЮНЕСКО. И тогда любая интенсивная хозяйст-

венная деятельность будет здесь полностью исключена, а одним из основных видов природопользования, наряду с традиционным кочевым скотоводством, сможет стать экологический туризм.

Этот вид познания и погружения в природу предполагает соблюдение довольно жестких правил поведения, защищающих природные комплексы от неблагоприятного влияния нерадивых посетителей.

Туристы смогут посещать кластерные участки, а также те интересные места, которые пока в состав охраняемых природных территорий не вошли, знакомиться и с народными традициями, сохранив-

шимися среди местных жителей, — элементами шаманизма, горловым пением «хоомей», а жить — не только в палатках, но и юртах, приобщаясь к жизни степных кочевников. Наряду с чисто образовательным эффектом возможен определенный приток финансовых средств, которые целесообразно использовать для развития заповедника, а в перспективе — и всей территории котловины.

Работы по исследованию Убсунурской котловины проводились при поддержке Института Открытого общества. Грант 941/1999. ■

В 1993—1997 гг. в Европе от лесных пожаров пострадало 2.1 млн га. Это бедствие коснулось в основном территории пяти стран, расположенных на юге Европы: Франции, Италии, Испании, Португалии и Греции (членов ЕС). По расчетам Европейской комиссии, ликвидация последствий и восстановление пострадавших земель обойдется в сумму от 1000 до 5000 евро за один гектар выгоревшего участка леса.

Science et Vie. 1999. №987. P.28 (Франция).

По заказу НАСА США несколько американских авиакосмических фирм конструируют автоматический воздухоплавательный корабль, годный для использования в марсианских условиях. Такой «марсолет» предполагается доставить на планету в 2003—2005 гг. в трюме одного из космических аппаратов. На его борту «марсолет» будет находиться в сложенном виде, но затем, будучи сброшенным над целью с парашютом, развернет свои крылья (которые из-за разреженности марсианской атмосферы должны

быть очень большими) и запустит пропеллер. По команде он начнет облет различных районов планеты, ведя всестороннюю их съемку. Данные будут передаваться спутнику, находящемуся на околомарсианской орбите, а оттуда — на Землю.

Благодаря этому автоматическому воздушному судну можно будет изучать куда большие территории, чем с помощью посадочных отсеков и колесных «марсоходов» (даже с высокой проходимостью). На создание «марсолета» ассигновано 50 млн амер. долл.

Science Times. 9 February 1999. P.F2 (США).

В бассейне р.Стеркфонтейн (ЮАР) известна серия разрезов, в которых найдены остатки австралопитеков и древнейших людей. На XV конгрессе ИНКВА из новейших результатов раскопок, которые здесь активно ведут африканские ученые, были отмечены находки остатков *Paranthropus robustus* и *Homo habilis*.

Древнейшие свидетельства производства каменных орудий в Стеркфонтейне относятся к 2—1.7 млн лет назад. Предпола-

гают, что орудия олдувайского облика производил *H.habilis* или даже более древний *H.sp.*, хотя их антропологических остатков здесь не обнаружено. Имеются находки *H.ergaster* в ассоциации с орудиями переходной от олдувайской культуры к раннеашельской. Использование камня усложнено по сравнению с олдувайской эпохой и основано на индустрии отщепов. Важным компонентом орудийных комплексов становятся бифасы (двусторонне обработанные орудия).

В 7 км от Стеркфонтейна открыт новый памятник — Дримолен, где сохранились остатки парантропа.

Датирование по методу ЭПР на стоянках Стеркфонтейн, Сварткранс, Кромдрай, Гладисвел, Дримолен показало очень большой разброс: так, для *H.ergaster* из Сварткранса минимальная дата 0.58(±0.14), максимальная 2.1(±0.1) млн лет; для зуба человека из Гладисвела 0.66(±0.11) и 1.4(±0.2) млн лет.

Book of Abstracts of XV INQUA Congress, 3—11 August 1999, South Africa. P.23—24, 103—104.

Стоянка на пути миграции среднепалеолитического человека из Леванта в Сибирь

В.А.Ранов, С.А.Лаухин

Не вызывает сомнения, что древние люди сначала заселили южные районы Старого Света, а уж потом проникли в более северные. При этом Сибирь и северо-восток Азии были освоены в последнюю очередь. Но откуда и какими путями люди пришли в эти районы? По особенностям материальной культуры среднего палеолита¹, главным образом по характеру каменных орудий этого времени еще в 1968 г. А.П.Окладников, а в 1988 г. один из авторов этой статьи (В.А.Ранов) высказывали предположение о возможности миграции людей конца мустьерского времени из Юго-Восточного Средиземноморья (Левант) через Среднюю Азию на юг Сибири (Алтай, Минусинские котловины, Забайкалье). Наиболее ярким и значительным памятником на этом пути является мустьерская стоянка Худжи, открытая в Гиссарском районе Таджикистана более 20 лет назад.



Вадим Александрович Ранов, член-корреспондент Таджикской Академии наук, доктор исторических наук, главный научный сотрудник Института истории, археологии и этнографии им.А.Дониша ТаАН. Специалист в области археологии каменного века.



Станислав Алексеевич Лаухин, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института проблем освоения Севера СО РАН. Президент подкомитета геоархеологии палеолита Международного союза по изучению четвертичного периода (ИНКВА). Специалист в области кайнозойской истории Земли, в том числе истории человека.

¹ Палеолит делится на три части: ранний, средний (мустье) и поздний.

Открытие стоянки Худжи

При строительстве полотна дороги, ведущей к священному источнику в одноименном кишлаке, в 40 км западнее Душанбе, бульдозеры затронули старинные очаги, рядом с которыми находились кости и необычные камни. Стоянка впервые была исследована в апреле—июле 1978 г. Теперь она широко известна специалистам, короткие сведения о ней появлялись и в «Природе»².

Напомним, что стоянка Худжи располагается на северной окраине густо заросшей впадины, вблизи уступа скальной предгорной ступени, примыкающей к южному склону гор Дарвазакан — передовой гряде Гиссарского хребта. Впадину пересекает ручей Худжи с кристально чистой водой, берущий свое начало из источника, вытекающего из уступа крутой известняковой скалы. Рядом с источником, который мусульмане считают священным и целительным, — могучая чинара, возраст которой специалистами определен в 800—900 лет. В ее тени, в небольшом бассейне, плавают мелкие рыбки, тут же расположены мазары — могилы мусульманских святых.

Когда мы прибыли на место работ, оказалось, что правый склон долины ручья Худжи срезан полотном будущей дороги на глубину 5 м, и перекрывающие культурный слой напластования были доступны для изучения. В западной части дороги, как бы уходя под склон, располагалась темная, окрашенная углистым пигментом, полоса шириной от 3.5 до 1.5 м. Расчистка выявила срезанный в верхней

части культурный слой толщиной 25—30 см. Он состоял из серии хорошо заметных пятен от очагов, скоплений каменных орудий и более 3000 обломков костей животных, по определению зоолога Ш.Шарапова, — диких баранов и коз, оленей, ископаемых лошадей, быков, медведей, динозавров и черепах. Некоторые из этих животных уже не существуют в современной фауне, другие изменились незначительно. Но в целом — это плейстоценовая (730—10 тыс. лет назад) фауна. Судя по тому, что кости животных в большинстве случаев расколоты или обгорели в кострах, нет сомнения, что это остатки пищи тех древних людей, которые жили в предгорьях Гиссарского хребта много тысячелетий назад.

Исключительно интересными оказались изделия из камня. Почти 6 тыс. их было найдено *in situ*, т.е. на том месте, где их оставили древние люди, а 2 тыс. собраны с поверхности. Эта внушительная коллекция позволила говорить об особенностях каменной индустрии стоянки Худжи. Исследователи³ пришли к выводу, что набор орудий относится к позднему мустье, а возможно, даже отражает переход к следующей эпохе каменного века — позднему палеолиту. Это предположение подтвердило позднее радиоуглеродное датирование углей из очагов — около 39 тыс. лет.

Основную часть каменных изделий составляют пластины правильных геометрических очертаний. Особенно красивы легкие, правильной треугольной формы, звенящие при ударе острия-клинки, более широкие и толстые в сечении пластины призматических очертаний (вытянуто-прямоугольной формы), укорочен-

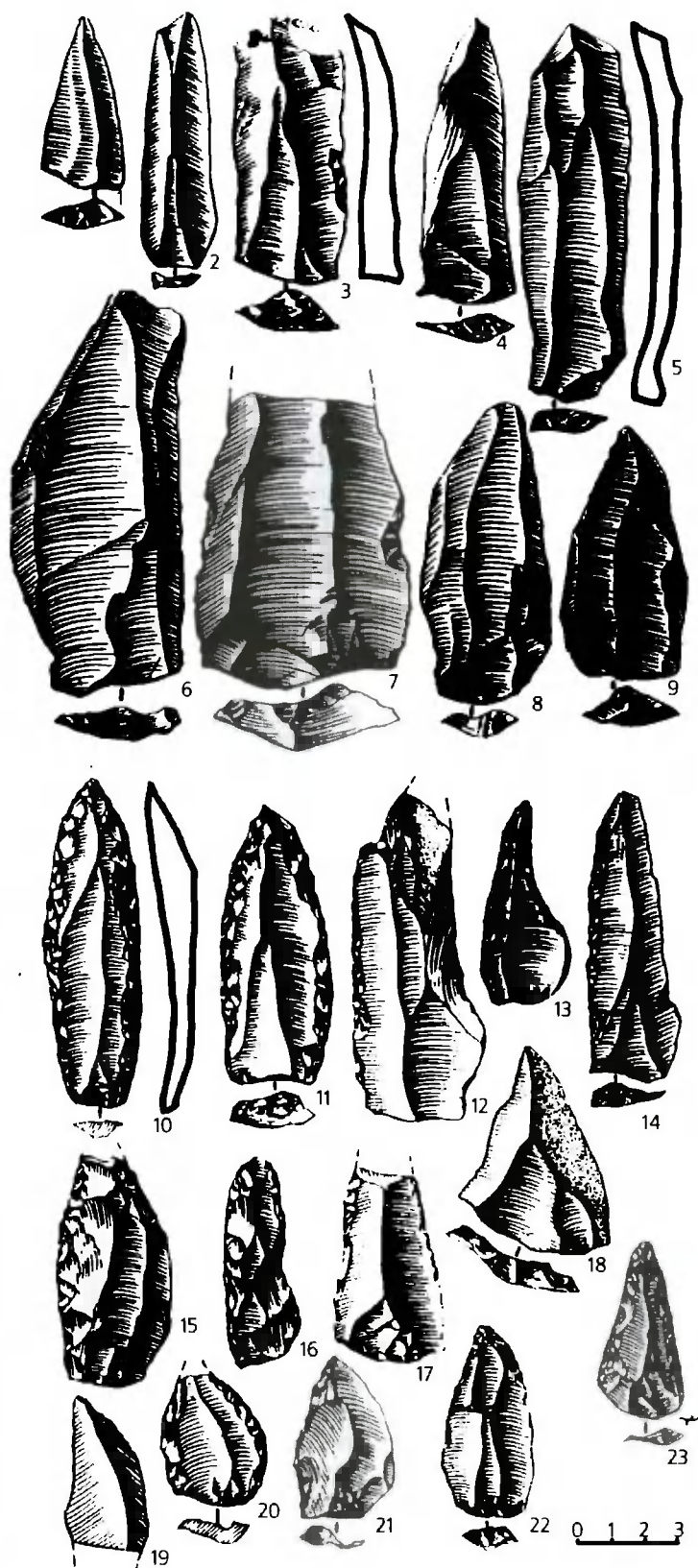
ные массивные или очень крупные пластины, слегка изогнутые в продольном профиле. Изделия поражают своим подобием: можно выкладывать совершенно одинаковые группы пластин, будто бы выполненных с помощью штампа. Глядя на эти предметы, нельзя не восхищаться мастерством наших далеких предков, освоивших такой трудный, мало податливый для обработки материал, как окремненный песчаник.

Эта высокая для каменного века техника заключается в том, что нуклеус, или ядрище (т.е. гальку или, как в данном случае, обломок подходящей породы), специально обрабатывают так, чтобы создать уплощенную, выровненную поверхность, позволяющую снять пластину или менее вытянутую в длину заготовку — отщеп заранее заданной формы; отсюда и высокий уровень стандартизации. Такая техника носит название леваллуазской, и она достаточно широко распространена и в других мустьерских памятниках Средней Азии, да и Старого Света в целом.

Большинство орудий — заготовок, у которых специальной подправкой, ретушью, создан рабочий край, которым можно резать, скрести, прокалывать и т.д., — сделаны из пластин. Острые треугольные клинки могли использоваться в качестве наконечников копий и дротиков — основного охотничьего оружия (лук и стрелы появились у первобытных людей значительно позднее). В основном из пластин сделаны продольные скребла, более редки остроконечники со специально обработанными краями — типичные орудия эпохи мустье. Однако совсем нет широко распространенных в то время боковых скребел на отщепах: основным типом заготовок были пластины, а это, в свою очередь, зависело от характе-

² Никонов А.А., Ранов В.А. Стойбище первобытных людей в Гиссарской долине // Природа. 1998. №4. С.145—146; Ранов В.А., Лаухин С.А., Зубов А.А. Первая находка останков первобытного человека в Таджикистане // Там же. 1998. №7. С.101—102.

³ Ранов В.А., Амосова А.Г. Раскопки мустьерской стоянки Худжи в 1978 году // Археолог. работы в Таджикистане. Вып.18. Душанбе, 1984. С.11—58.



Пластины различных типов (1–9) и орудия (10–23) из культурного слоя стоянки Худжи. Масштабная линейка дана в сантиметрах.

Орудия: 10, 23 — остроконечники мустьерские, удлиненные; 11 — остроконечник, или конвергентное скребло; 12, 14, 17 — скребла простые, прямые; 13 — комбинированное орудие: прямоугольное скребло-проколка; 15, 16 — скребла простые, выпуклые; 19, 21, 22 — тронкированные острия; 20 — скребло двойное, двояковыпуклое.

ра первичного материала — речная галька использовалась, но не часто, в основном в дело шли угловатые обломки подходящей породы. Еще имеются выямчатые и зубчатые орудия и, в небольших количествах, скребки и резцы. Выделяются крупные пластины (длиной от 5 до 15 см) с затупленным крутой ретушью краем — прообраз орудий позднего палеолита.

Сходные палеолитические комплексы, получившие наименование леваллуа-мустьерских, хорошо известны в Средней Азии. В Таджикистане это стоянки на древних террасах р.Сырдарьи, в пустыне Кайрак-Кум и в Джаркутане около Шахристана. В Узбекистане такие памятники имеются в Ангренской долине и Приташкентском районе, а в Киргизии на берегах оз.Иссык-Куль.

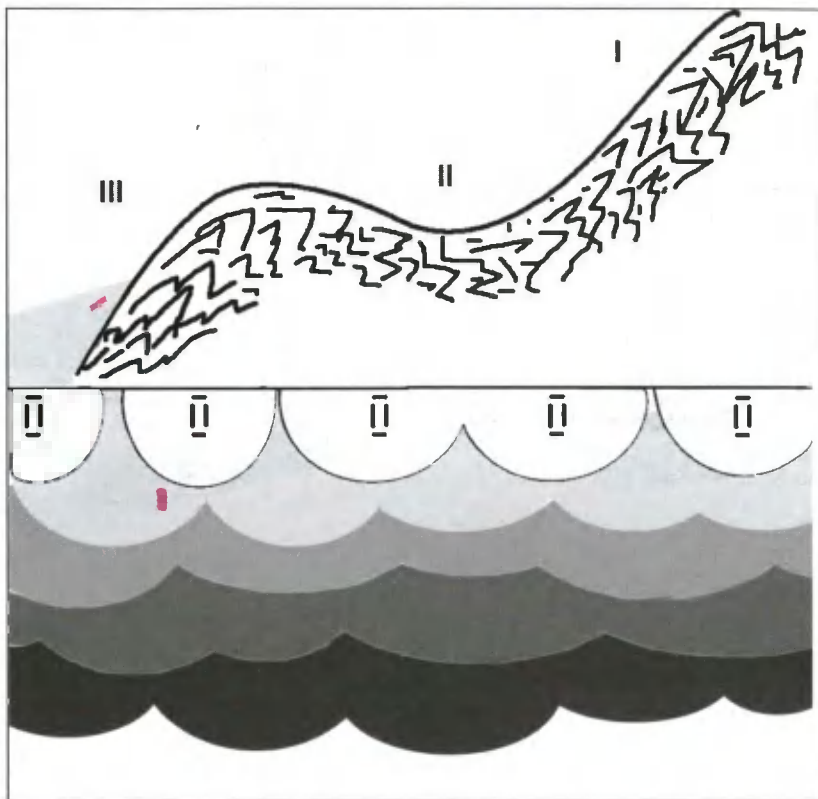
Во время археологических работ 1978 г., как и полагается при раскопках, была хорошо зачищена стенка выемки и в ней обнаружены кости животных и каменные орудия. Это говорило о том, что выше по разрезу могут находиться еще несколько культурных горизонтов. Но в тот сезон археологов «позвали» другие па-

мятники, и Худжи на многие годы был оставлен до лучших времен.

Раскопки 1997 года: формирование отложений

В 1997 г. таджикские археологи впервые получили грант Национального географического общества США для продолжения раскопок именно этой стоянки. Но к сожалению, из-за военных столкновений в Гиссарской долине мы смогли приехать в Худжи всего на один месяц. Тем не менее удалось провести исследования геологического строения стоянки. Оно оказалось достаточно сложным, поскольку археологические остатки залегают в толще, сложенной осадками, вынесенными водными потоками из многочисленных разновозрастных логов (разновидностей оврагов с местным названием сай), прорезающих южные отроги Гиссарского хребта.

В зависимости от количества атмосферных осадков и геоморфологических условий формировались то обширные, то небольшие конусы выноса. При этом соседние сливались друг с другом, размывались, перекрывались или врезались друг в друга. Во влажные этапы геологической истории самые обширные лога превращались в долины ручьев и даже рек, размывавших сформировавшиеся ранее конусы выноса. В более сухие периоды, наоборот, долины мелких рек превращались в лога и заполнялись склоновыми отложениями, а на выходе из предгорий во впадину формировались конусы выноса из них. В результате толща (местные называют ее адырной) построена чрезвычайно сложно. В ней разновозрастные отложения часто лежат на разных гипсометрических уровнях, иногда более древние слои залегают не-



Геоморфологический профиль в районе стоянки Худжи (вверху) и упрощенная схема формирования адырной толщи. I — складчатые скальные породы южного склона хребта Дарвазакан; II — предгорная ступень, сложенная теми же породами; III — рыхлые отложения адырной толщи; цветом отмечена часть этой толщи, вскрытая раскопами стоянки Худжи. Разными тонами отмечены конусы выноса различных этапов формирования адырной толщи; цветом — положение стоянки Худжи.

сколько выше молодых. Эпизодические сели добавляли в нее грубообломочные отложения; более или менее интенсивно в толщу оседала пыль, оставляли свои отложения ручьи Худжи и другие водотоки, прорезающие конусы выноса, и т.д. Расшифровать всю сложную картину соотношения слоев в адырной толще можно, лишь изучив ее полный разрез. Археологические же раскопы — это лишь микроскопические окошечки в самой ее верхней части, поэтому наши реконструкции в большой мере гипотетичны.

В самом грубом приближении в разрезе стоянки Худжи можно выделить три пачки.

В верхней, толщиной 2—3,5 м, переслаиваются суглинки, дресва, щебеночник. В пачку включены и глыбы местных пород, редко — из селевых отложений. На разных уровнях пачки попадают единичные, явно переотложенные, артефакты. Примерный возраст отложений менее 22 тыс. лет.

Ниже располагаются разнообразные суглинки с очень редкими прослоями дресвы и мелкого щебня, мощностью 3—4 м. Их возраст по радиоуглеродным датировкам — 37—42 тыс. лет. В нижней части этой пачки залегают погребенные почвы, к которым приурочено основное количество археологических находок.



Поверхность адырной толщи. Вид с предгорной ступени. На северной окраине кишлака Худжи виден правый борт долины ручья.

Здесь и далее фото С.А.Лаухина

Третья пачка сложена зелеными, с пятнами ржавчины, болотными глинами. Это отложения небольшого бассейна, который существовал у истоков ручья Худжи 80—39 тыс. лет назад. Культурный слой стоянки Худжи, изученный в 1978 г., находился как раз на контакте болотных глин и перекрывающих их суглинков второй пачки.

Палинологический анализ, проведенный М.М.Пахомовым, показал, что для наиболее влажных условий, существовавших во время отложения глин, характерно богатство древесной растительности (22 рода), при явном преобладании сосны. Накопление же суглинков ознаменовалось потеплением климата, происходившим в условиях нарастающей аридизации. Количество пыльцы древесных пород (в частности, сосны и липы) сокращается по мере усиления господства термофильных компонентов флоры и эфемеров, растущих в усло-

виях резкого летнего дефицита влаги⁴.

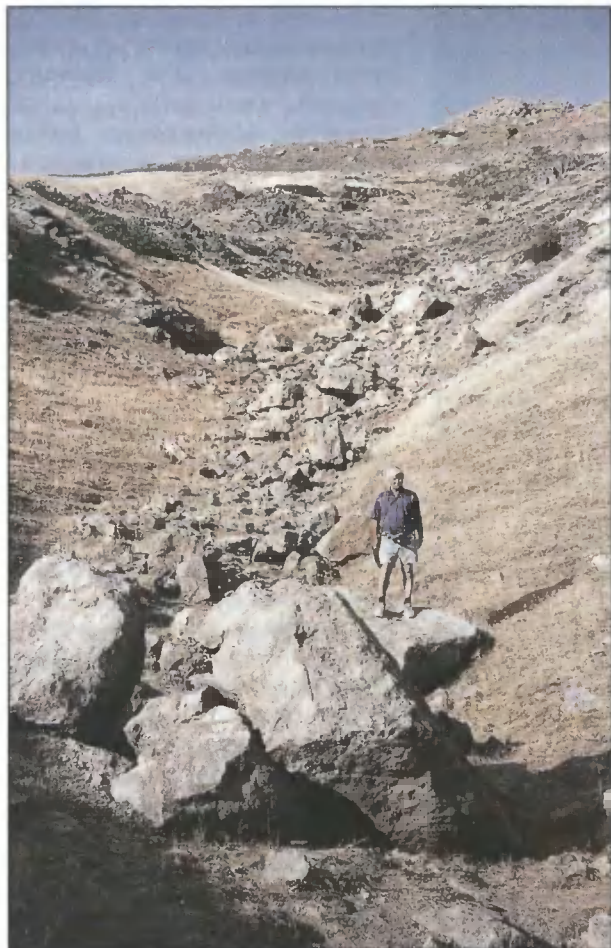
Культурные слои стоянки

С большим волнением мы приступали к новым раскопкам, надеясь получить последовательно залегающие разновременные жилые горизонты, которые позволяют проследить эволюцию каменного инвентаря (мечта всех археологов).

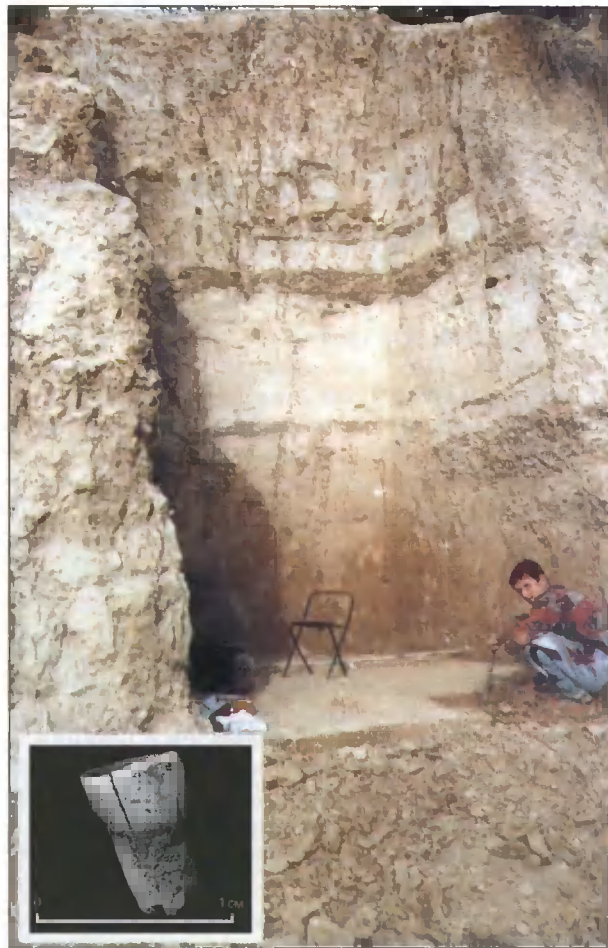
В 1997 г. вдоль склона над дорогой, на протяжении 33 м, было сделано шесть раскопов, общей площадью 72 м². Из них извлечено более 2731 артефактов, но, в отличие от раскопок 1978 г., найдено лишь небольшое количество костей,

главным образом зубов горных баранов, коз и оленей. Как уже отмечалось, находки сосредоточены в суглинках второй пачки, в основном в погребенной почве. Иным оказался характер культурного слоя. Небольшое число линз прокаливания от костров, не сохранивших уголь, было зафиксировано на кровле почвы, однако на расчищенной здесь поверхности найдено небольшое число изделий каменного века и, наоборот, ниже, в самой толще погребенной почвы, обнаружено много каменных орудий, но незначительное количество костей и следов от костров. Возможно, что раскоп 1978 г. вскрыл подлинный культурный слой, а раскопы 1997 г. — одновременные ему (или близкие по возрасту) площадки (так сказать — мастерские), где люди производили свои орудия. Или другой вариант: культурный слой первого сезона раскопок связан с ровной площадкой, а второго — со слегка

⁴ Пахомов М.М., Никонов А.А., Рзнов В.А. Динамика природной среды низкогорий Южного Таджикистана в позднем плейстоцене // Развитие природы на территории СССР в позднем плейстоцене и голоцене. М., 1982. С.99—106.



Верховья сая Сагман на южном склоне хребта Дарвазакан. Конус выноса этого сая слагает значительную часть разреза, вскрытого раскопами стоянки Худжи.



Один из раскопов 1997 г. (№2), где был зачищен и разобран культурный слой возрастом более 42 тыс. лет, в котором обнаружен зуб ребенка (на врезке). Видна верхняя часть погребенной почвы.

наклонной поверхностью, и в этом случае уголь смывался во время дождей, остатки костров не сохранялись, а более тяжелые изделия из камня почти не перемещались.

Анализ положения артефактов показывает, что большая часть из них залегала горизонтально, и это дает основание полагать, что орудия лежат на том месте, где их оставили древние люди. Это предположение подтверждается значительной концентрацией

артефактов и результатом промывки породы: в сите оставалось очень большое количество мелких обломков костей и мельчайших каменных чешуек; следовательно, камни раскалывали и обрабатывали в том же месте, где найдены орудия. Края изделий из камня в большинстве случаев не окатаны и очень острые. Но остатков костров все-таки нет. Значит, та поверхность, на которой жили люди, какое-то время не перекрывалась новы-

ми отложениями, и уголь с нее смывался. Возможно, орудия и кости переносились на небольшие расстояния вместе с водой, текущей по слегка наклоненной поверхности?

Эти моменты еще предстоит разъяснить, равно как и само положение артефактов, которые распределены в древней почве на толщине до 3 м, хотя количество находок внутри этого образования различное: 60% артефактов сосредоточено на высоте 46–47 м; менее



Памятники мустьерской культуры в Старом Свете.

Археологические памятники, упомянутые в статье: 1 — пещера Табун, 2 — Караин, 3 — Загросские пещеры, 4 — стоянка Худжи, 5 — пещера Сибирячиха, 6 — Денисова пещера, 7 — стоянка Кара-Бом, 8 — грот Двуглазка, 9 — стоянки Кремневой долины.

значимая концентрация выявлена на отметках 48.5–49 м. Однако между этими уровнями нет прослойки без каменных орудий — здесь таких находок просто меньше. Но при всех сложностях интерпретации положения каменных изделий в суглинках второй пачки высокая концентрация их на небольшом вертикальном отрезке в раскопах 1–3, а также другие признаки говорят, что перед нами не случайное скопление перемещенных по склону мустьерских изделий, а культурный слой, подвергшийся незначительному поверхностному размыванию. Судя по всему, в «культурной части» разреза Худжи накапливались склоновые отложения, формировавшиеся в основном за счет слабых водных потоков, постепенно погребавших все новые и новые горизонты с каменными орудиями.

Нам еще предстоит понять, как соотносятся старые (1978) и новые (1997) раскопки по возрасту: четыре новые радиоуглеродные датировки дают возраст пород меньше 39 тыс. лет, а одна, из пробы слоя, расположенного выше других, больше. Но, суммируя все полученные материалы, можно сказать, что возраст мустьерской стоянки Худжи примерно 40 тыс. лет, что соответствует завершающей стадии этой эпохи палеолита.

Можно считать, что находки на более низком гипсометрическом уровне в раскопе 1978 г. и собранные выше находки из раскопов 1997 г. — это те же самые изделия леваллуазского облика. Но имеются и различия — скорее количественные, чем качественные. Например, в коллекции 1978 г. на один отщеп приходилось 1.6 пластин, а в коллекции 1997 г., наоборот, на одну пластину приходилось 1.6 отщепов. Орудий, имеющих дополнительную, специально нанесенную, ретушь в раскопе 1997 г. в пять раз меньше, но они также преимущественно сделаны из пластин при помощи краевой ретуши. Это те же скребла, ножи, выемчатые и реже зубчатые орудия, острия.

тины, а в коллекции 1997 г., наоборот, на одну пластину приходилось 1.6 отщепов. Орудий, имеющих дополнительную, специально нанесенную, ретушь в раскопе 1997 г. в пять раз меньше, но они также преимущественно сделаны из пластин при помощи краевой ретуши. Это те же скребла, ножи, выемчатые и реже зубчатые орудия, острия.

Антропологическая находка и проблема неандертальцев

В 1997 г. в Худжи была сделана сенсационная находка — зуб (второй нижний резец) ребенка 3–5 лет. Его нашли при промывке земли из нижней части второго раскопа. По образцу, отобранному нами в 40 см выше, в лаборатории Университета Гронинген (Нидерланды) получена самая древняя на этой стоянке радиоуглеродная дата 42110 (± 440 (18%)). Большие значения допусков заставляют относиться к ней с определенной осторожностью, тем более что примерно на том же уровне, но в третьем раскопе, в упомянутой лаборатории получена дата 35930 (± 600). Во всяком случае самый древний возраст не выходит из рамок мустьерских культур Старого Света.

Зуб ребенка — далеко не самый лучший материал для антропологических определений. Однако это первая находка остатков ископаемого человека в палеолите Таджикистана, который изучается вот уже 45 лет. И всего вторая в Средней Азии для стоянок мустьерского времени после знаменитой находки скелета ребенка из Тешик-Таша (Узбекистан), раскопанного А.П.Окладниковым 60 лет назад!

Два известных антрополога — А.А.Зубов (Россия) и Э.Тринкауз (США) — призна-

ли принадлежность зуба ранней формы человека современного (*Homo sapiens sapiens*). Правда, первый исследователь считает, что это архаичный *H.sapiens sapiens* (остатки таких людей найдены вместе с мустьерскими орудиями в Леванте), а второй, не исключая такого вывода, полагает, что это мог быть и неандерталец (*H.sapiens neanderthalensis*), т.е. форма, предшествовавшая человеку современного типа. Все же находка вселяет надежду, что продолжение раскопок на стоянке Худжи может принести более значимые антропологические результаты.

К тому же она проливает свет еще на одну крупную проблему. До 80-х годов XX в. в антропологии господствовала гипотеза о том, что носители мустьерской культуры — неандертальцы. Благодаря гибридизации различных форм людей того времени на Ближнем Востоке они изменились физически и превратились в человека современного типа. Именно эти люди затем распространились по всей ойкумене, сменяя неандертальцев.

Однако сравнительно недавно появилась новая гипотеза — «аут Африка», согласно которой *H.sapiens sapiens* возник в Африке (независимо от существования неандертальского ствола) немногим более 100 тыс. лет назад, а затем мигрировал на Ближний Восток. Там он некоторое время сосуществовал одновременно с неандертальцем, причем, судя по изделиям, найденным в знаменитых пещерах плато Кармел в Израиле, пользовался такими же орудиями, что и его соседи неандертальцы. Затем началось триумфальное шествие *H.sapiens sapiens* по планете, везде вытеснявшего своего предшественника¹. Гипотеза, безусловно, очень

привлекательная. Однако практическое ее доказательство представляется очень нелегким, прежде всего потому, что реально проследить путь *H.sapiens sapiens* архаичного типа по ойкумене в эпоху среднего палеолита (около 40 тыс. лет назад) чрезвычайно трудно. Кроме того, археологи хорошо знают (это, кстати, видно и по каменному инвентарю стоянки Худжи), что технические элементы обработки камня уже следующей эпохи — позднего палеолита — возникают в недрах мустье. Для того чтобы со временем из мустьерской технологии возникла верхнепалеолитическая, вовсе не надо реконструировать приход более развитой (т.е. лучше владеющей искусством раскалывания камня) популяции. К хорошо известным примерам локального развития верхнепалеолитической культуры во Франции и в Израиле теперь добавилась алтайская стоянка Кара-Бом: ее каменный инвентарь демонстрирует хорошо прослеживаемую эволюцию перехода от мустьерской индустрии к верхнепалеолитической и, наоборот, сохранение мустьерских приемов раскалывания камня в начале позднего палеолита.

Тешикташского ребенка много лет считали неандертальцем. Но сейчас нельзя исключить, что эту выдающуюся антропологическую находку переведут в таксон архаичного *H.sapiens sapiens*. Жаль, что зуб из Худжи не может быть определен более точно. Можно полагать, что ребенок, потерявший его, принадлежал той же популяции, что и тешикташец. Во всяком случае археологические данные позволяют так думать.

В настоящее время стоянку Худжи можно отнести к наиболее хорошо изученным памятникам мустьерской культуры в Средней Азии; в частности, она имеет наибольшую се-

рию радиоуглеродных дат среди палеолитических памятников Средней Азии.

Гипотеза миграции носителей мустьерской культуры с Ближнего Востока в Сибирь

Со стоянкой Худжи тесно связана еще одна проблема. Каменный инвентарь Худжи, как и других мустьерских стоянок Средней Азии (Тешикташ, Кайрак-Кум, Джар-Кутан, Оби-Рахмат, Огзи-Кичик и др.), очень напоминает индустрию одновременных памятников Ближнего Востока (прежде всего области Леванта, куда входят Сирия, Ливан, Израиль) Это позволяет говорить о возможной миграции носителей мустьерской культуры из Восточного Средиземноморья через Среднюю Азию на Алтай, в Южную Сибирь, Туву и Монголию. Несмотря на громадное расстояние, разделяющее стоянку Худжи и, например, пещеру Табун около г.Хайфа (по прямой около 3000 км), оно вполне преодолимо, даже если идти пешком. Времени для такого продвижения у наших предков было более чем достаточно — целые тысячелетия!

Идея о сходстве каменных индустрий среднеазиатского и ближневосточного мустье была выдвинута еще 60 лет назад первым исследователем палеолита этого региона А.П.Окладниковым. В дальнейшем один из авторов статьи (В.А.Ранов) обосновал это тождество как результат прямой миграции от Леванта до восточных пределов Монголии.

В настоящее время гипотеза имеет немало сторонников. Основные черты сходства, позволяющие отделить два указанных региона от остального мира среднепалеолитических (мустьерских) индуст-

¹Stringer C., Gamble C. In search of the Neanderthals. London, 1993.



В раскопе №4 (1997) погребенная почва пройдена почти на всю мощность, в нижней ее части много крупных карбонатных конкреций.

рий, можно охарактеризовать следующим образом: полное отсутствие двусторонне обработанных орудий; развитие пластинчатых индустрий леваллуа-мустьерского типа в Средней Азии и левантийского мустье на Ближнем Востоке; преимущественно боковая ретушь орудий; слабое распространение орудий с многорядовой ретушью, так называемых шарантских скребел.

Гипотеза столь далекого перемещения основана прежде всего на том, что ни в Средней Азии, ни на Алтае,

ни в Монголии пока не обнаружено достаточно четко хронологически определенного пласта нижнепалеолитических стоянок, из которых могли «вырастать» леваллуа-мустьерские культуры. Особенно хорошо это видно на примере Южного Таджикистана, где в нижнем палеолите существовала технически очень примитивная галечная культура, из которой вряд ли могла произойти утонченная (с точки зрения своего времени) пластинчатая леваллуа-мустьерская индустрия. Она возникает в указанном регио-

не как бы внезапно и в достаточно развитом виде, лишенная местных корней. Немаловажно и то обстоятельство, что мустьерской культуры (ни в каком варианте) нет ни в Индии, ни в Китае, ни на Дальнем Востоке России. На этих территориях возникает собственная, очень непохожая, совсем непластинчатая индустрия среднего палеолита. Видимо, леваллуазская техническая идея сюда не была принесена, и миграция носителей мустьерской культуры с запада имела свои границы, показанные на приведенной карте.

На сегодняшний день достаточно хорошо изучен целый ряд памятников, найденных между Левантом и Средней Азией. Однако все они очень удалены от начальной и завершающей точек этого движения. Таковы мустьерские стоянки Загросских гор в Ираке и Иране, а также — материалы из раскопок пещеры Караин, расположенной на западе Анатолийского плато. Сходство и различие этих индустрий со средиземноморскими еще предстоит изучить, но не приходится сомневаться, что в будущем все лакуны будут заполнены и мы получим не только географическую картину одной из самых ранних и дальних миграций первобытного человека, но и поймем причины ее породившие. Думается, что стоянка Худжи, расположенная почти посередине между Левантом и Алтаем, сыграет свою роль в решении этой интересной проблемы.

Работа выполнена на средства Национального географического общества США, грант 5915-97, а также и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Гранты 97-06-80129 и 00-05-64684.■

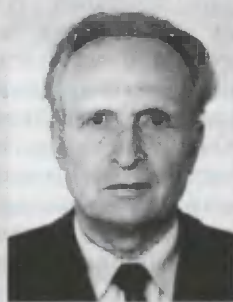


Ящерицы, размножающиеся без самцов

И.С.Даревский, В.В.Гречко, Л.А.Куприянова

С детства мы умеем различать кота и кошку, курицу и петуха, т.е. знаем о существовании мужского и женского полов, причем не только в царстве животных, но и растений. Тем не менее укоренившееся в сознании людей представление о неизбежной двуполости всех живых существ не соответствует действительности. В настоящее время известно большое число видов растений и животных, у которых мужских особей нет вовсе, а если они периодически и появляются, то лишь на короткое время. Отсутствие мужского пола не сказывается, однако, на судьбе однополых видов — самки регулярно размножаются без участия самцов и, следовательно, без оплодотворения.

Долгое время считалось, что к однополуму размножению (партеногенезу) среди животных способны лишь некоторые беспозвоночные — различные черви, моллюски и насекомые. Поэтому настоящей сенсацией стало сделанное нами в конце пятидесятих годов открытие однополого размножения у таких высокоорганизованных позвоночных, как пресмыкающие-



Илья Сергеевич Даревский, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории орнитологии и герпетологии Зоологического института РАН. Область научных интересов — систематика, биология, морфология, эволюция, зоогеография, палеонтология и охрана пресмыкающихся и земноводных, отечественной и мировой фауны. Неоднократно публиковался в «Природе».



Верната Викторовна Гречко, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории эволюции эукариотических геномов Института молекулярной биологии РАН. Занимается изучением структуры ДНК в связи с эволюцией позвоночных.



Лариса Андреевна Куприянова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории орнитологии и герпетологии Зоологического института РАН. Интересуется проблемами систематики, филогении и эволюции рептилий.

ся, а именно — у некоторых видов кавказских скальных ящериц, относящихся к роду *Lacerta*¹. Эти ящерицы принадлежат к числу самых обычных и широко распространенных позвоночных горного Кавказа. На всем протяжении от Предкавказья и Дагестана до юга Армении и Азербайджана, от Черноморского побережья до ледников Главного Кавказского хребта едва ли отыщется ущелье или обнажение скал, где не встречались бы эти небольшие юркие пресмыкающиеся.

Характерная особенность скальных ящериц — ярко выраженная полиморфность: одни виды окрашены одноцветно и скромно и характеризуются большим постоянством морфологических признаков, другие отличаются разнообразием и яркостью расцветки, третьи же сочетают признаки, свойственные одновременно нескольким разным видам. В пределах своего обширного ареала, охватывающего, помимо Кавказа, горный Крым, Малую Азию и северную часть Ирана, они образуют значительное число видов, подвигов и популяций, длительное время объединявшихся под сборным названием *Lacerta saxicola*, которое дал им известный русский зоолог Э.А.Эверсманн (1794—1860).

Разобраться во всем этом многообразии форм, отыскать надежные и стойкие критерии их разграничения — вот задача, которая с давних пор привлекала к себе внимание отечественных и зарубежных систематиков. Однако несмотря на многочисленные исследования, сделать это оказалось совсем не просто. Очень скоро выяснилось, что дальнейшее накопление и без того обширного коллекционного материала расширяет спектр полиморфизма и не только не

способствует решению задачи, но, напротив, все более ее усложняет. Трудности особенно возросли, когда выяснилось, что различные виды скальных ящериц легко друг с другом скрещиваются, образуя морфологически трудно различимые гибриды. Стало ясно, что выход из создавшегося положения заключается не в поиске более тонких диагностических признаков, а в признании того, что полиморфизм скальных ящериц — нормальная форма их существования. В связи с этим весь обширный накопившийся материал необходимо было пересмотреть с принципиально иных теоретических и методологических позиций. Потребовалась обработка не только мертвого коллекционного материала, но и изучение живых ящериц в их естественной обстановке, ибо лишь таким путем могут быть выявлены действительные отношения, существующие между отдельными популяциями вида в природе.

В результате многолетних исследований нам удалось выделить и описать внутри группы *L.saxicola* еще как минимум 18 самостоятельных видовых форм на основании анализа их морфологических признаков и зоогеографии². Именно в процессе этих полевых и лабораторных исследований было обнаружено, что семь видов скальных ящериц практически лишены самцов и размножаются без их участия посредством партеногенеза. Встреченное поначалу с недо-

верием, наше открытие впоследствии было поддержано отечественными и зарубежными зоологами. По понятной причине изучение именно таких однополых ящериц легло в основу наших комплексных исследований, поддержанных грантами РФФИ в 1993 и 1996 гг.

В первую очередь были отобраны четыре широко распространенных двуполых вида — ящерица Валентина (*L.valentini*), азербайджанская (*L.raddei*), куринская (*L.portschinskii*) и аджарская (*L.mixta*), а также четыре партеногенетических — ящерицы Дала (*L.dabli*), Ростомбекова (*L.ros-tombekovi*), армянская (*L.armeniaca*) и белобрюхая (*L.unisexualis*), встречающиеся, в основном, в Армении и прилегающих районах Грузии и Азербайджана. Партеногенетические виды морфологически оказались очень сходны со своими двуполыми родственниками, и естественно возник вопрос: каким образом они образовались? Возможно, партеногенетические виды среди скальных ящериц появились в результате межвидовой гибридизации. Это предположение возникло, когда выяснилось, что они обладают некоторыми промежуточными признаками окраски и чешуйчатого покрова, и выглядело достаточно убедительно, поскольку ранее, в опытах на шелковичных червях, уже была известна потенциальная склонность гибридов к однополому размножению³.

Для проверки своей гипотезы мы использовали некоторые современные методы молекулярной систематики, в частности аллозимный анализ, основанный на сравнении электрофоретической подвижности видоспецифических белков восьми перечисленных двуполых и партено-

¹Darevsky I. S. // J. Ohio Herpetol. Soc. 1966. V.5. P.115—152.

²Даревский И.С. Скальные ящерицы Кавказа. Л., 1967; Darevsky I. S., Kupriyanova L. A., Uzzell T. Parthenogenesis in reptiles // Biology of the Reptilia / Eds R.M.Dawley and J.P.Bogart. N.Y., 1985. V.15. P.412—526; Darevsky I. S. Herpetology: Current research of the biology of Amphibians and Reptiles // Proc. of the First World Congress of Herpetology / Ed. K.Adlar. L., 1992. P.21—39; Даревский И.С. Эволюция и экология партеногенетического размножения у пресмыкающихся // Современные проблемы теории эволюции. М., 1993. С.89—109.

³Астауров Б.Л. // Генетика. 1969. Т.7. С.129—149.

генетических видов⁴. Анализ по нескольким информативным локусам выявил в электрофореграммах всех четырех партеногенетических видов активные аллели двух разных бисексуальных, предположительно родительских форм, что свидетельствует об их происхождении в результате межвидовой гибридизации. Примечательно, что спаривание в разных комбинациях одних и тех же родительских видов привело к формированию различных партеногенетических форм. Однако это требовало дальнейшего уточнения в связи с тем, что в пределах Кавказа обитают еще несколько двуполых видов — собственно скальная ящерица (*L.saxicola*), кавказская (*L.caucasica*), дагестанская (*L.daghestanica*), грузинская (*L.rudis*), краснобрюхая (*L.parvula*) и некоторые другие ящерицы. Если судить по морфологическим признакам, то они также могли претендовать на участие в гибридогенном образовании четырех однополых форм, несмотря на то, что в настоящее время географически они значительно удалены друг от друга.

Для того чтобы разобраться в этом, мы использовали некоторые другие современные методы молекулярной систематики, в частности анализ ядерной и митохондриальной ДНК. Особенно важную роль сыграл предложенный нами метод рестриктазного картирования нуклеотидных повторов геномной ДНК, получивший название «таксонопринта». Дело в том, что размер, структура последовательностей и число повторов обладают видо- и родоспецифическими свойствами, которые могут быть использованы как молекулярные признаки этих таксонов. Эта характеристика повторов ДНК

⁴Uzzell T., Darevsky I.S. // *Сopeia*. 1975. №2. P.204—222.

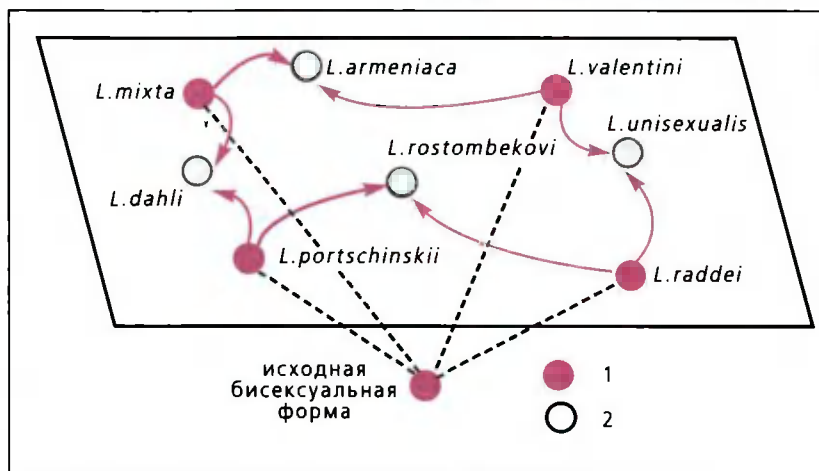
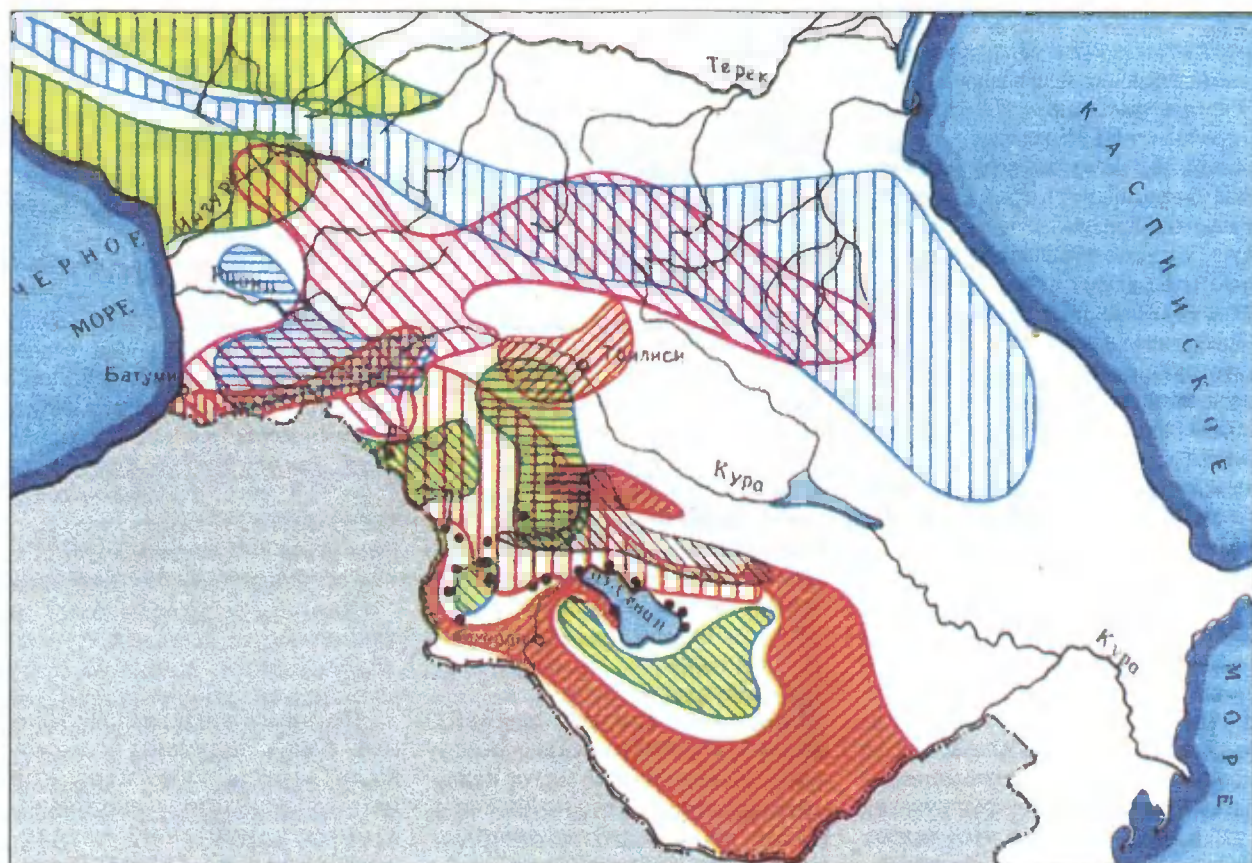


Схема гибридогенного видообразования четырех партеногенетических (2) видов скальных ящериц в результате скрещивания в различных комбинациях четырех родительских (1) двуполых форм.

одинакова у каждого индивидуума популяции (это было показано на обширном материале, полученном не только на ящерицах, но и на других группах животных — насекомых, рыбах, млекопитающих) и представляет собой его как бы «паспорт». Более того, близкие популяции одного вида не различаются по этой характеристике и потому могут быть объединены в один вид, независимо от степени характеризующего их полиморфизма. Разные же виды обладают специфическими картинами повторов, которые, однако, сохраняют некоторые общие признаки, что позволяет заключить их в рамки одного рода. У метода таксонопринта немало и других достоинств, например с его помощью удалось выявить родительские виды для некоторых партеногенетических. Выяснилось, что из большого числа популяций широко распространенного в Закавказье двуполого вида азербайджанской ящерицы только одна из них может претендовать на роль родительской по отношению к партеногенетической ящерице Ростомбекова⁵.

Не менее интересные данные были получены с помощью метода полимеразной цепной реакции с использованием единичного случайного праймера (RAPD), который широко используется в систематических исследованиях для характеристики внутри- и межпопуляционного полиморфизма, а также для выявления различий между популяциями различных видов. Оказалось, что отдельные партеногенетические таксоны содержат в своем геноме локусы ДНК двух бисексуальных видов (т.е. по своему происхождению эти таксоны гибридные) и, более того, не имеют своих собственных видоспецифичных локусов, которые были бы характерны только для них. Все особи партеногенетической популяции обладают совершенно

⁵Гречко В.В., Федорова Л.В., Федоров А.Н. и др. // *Молекуляр. биология*. 1997. Т.31. С.244—252; Гречко В.В., Рябинин Д.М., Федорова Л.В. и др. // *Молекуляр. биология*. 1998. Т.32. С.172—183; Grechko V.V., Ryabinin D.M., Fedorov A.N. et al. // *Amphibia-Reptilia*. 1977. V.18. P.407—418; Fedorov A.N., Fedorova L.V., Grechko V.V. et al. // *J. Mol. Evol.* 1999. V.48. P.69—76.



Современные ареалы скальных ящериц в пределах Кавказа. Видны более или менее обширные зоны совмещения ареалов различных видов.

одинаковыми картинами RAPD-маркеров. Это свидетельствует как о чрезвычайной устойчивости генома партеногенетических видов, так и об их относительно недавнем с эволюционной точки зрения происхождении⁶.

Оба метода однозначно указывают на гибридное происхождение четырех партеногенетических форм скальных ящериц. Аллозимный анализ партеногенетических ящериц выявил в той или иной мере свойственную им

генетическую неоднородность, которая проявляется в так называемой поликлонии. Например, у однополых ящериц Даля обнаружено не менее пяти клонов, у армянской и белобрюхой — по три клона, тогда как ящерица Ростомбекова (в пределах изученной части ее ареала) — моноклональна⁷. Это может свидетельствовать о происхождении таких видов в результате не одного, а нескольких актов межвидовой гибридизации, видимо, имевших место в разное время и в различных частях их ареалов.

⁶ Ryabinina N.L., Grechko V.V., Darevsky I.S. // Genetica. 1998. V.34. P.1661–1667; Ryabinina N.L., Grechko V.V., Semenova S.K., Darevsky I.S. // Russ. J. Herpetology. 1999. V.6. P.55–60.

⁷ Murphy R., Darevsky I.S., MacCulloch R. et al. // Genetica. 1997. V.101. P.125–130.

Двуполые виды

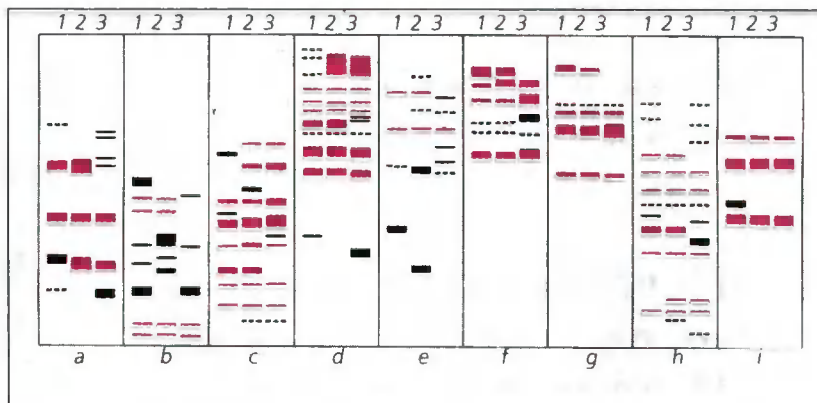
- собственно скальная ящерица
- кавказская ящерица с подвидами
- грузинская ящерица с подвидами
- аджарская ящерица
- краснотелая ящерица
- ящерица Валентина
- азербайджанская ящерица с подвидами
- куринская ящерица

Партеногенетические виды

- армянская ящерица
- ящерица Даля
- ящерица Ростомбекова
- белобрюхая ящерица

Цитогенетический анализ двуполой и партеногенетических видов скальных ящериц поначалу нас разочаровал, так как по кариотипу все они оказались очень сходны и имеют стандартный диплоидный набор гомологичных акроцентрических хромосом ($n = 38$). Ситуация явно неудачная, так как у некоторых других гибридогенных партеногенетических видов ящериц хромосомные наборы гетероморфны, т.е. состоят из различных по морфологии хромосом, заимствованных от кариотипически различающихся родительских пар. Например, если один из родительских видов характеризуется метацентрическими хромосомами (с перетяжкой в средней части), а другой — субметацентрическими (с перетяжкой, сдвинутой к одному из концов), то диплоидный кариотип порожденного от их гибридизации вида включает гаплоидные наборы метацентрических и субметацентрических хромосом, полученных от каждого из родителей. Именно так обстоит дело у многих американских однополых ящериц из рода *Cnemidophorus*. У «наших» же партеногенетических видов скальных ящериц хромосомные наборы (за одним исключением, на котором мы остановимся позже) — гомологичны.

И все же нам удалось обнаружить некоторые хромосомные маркеры и подтвердить гибридную природу партеногенетических видов *Lacerta*. Выяснилось, например, что хромосомы некоторых из них характеризуются разным распределением специфически окрашенных гетерохромативных районов. Так, у одного из родительских видов в хромосоме «А» первой пары такой окрашенный район располагается на верхнем ее конце, тогда как у второго из родителей — лежит ближе к центру или отсутствует вовсе. Соот-



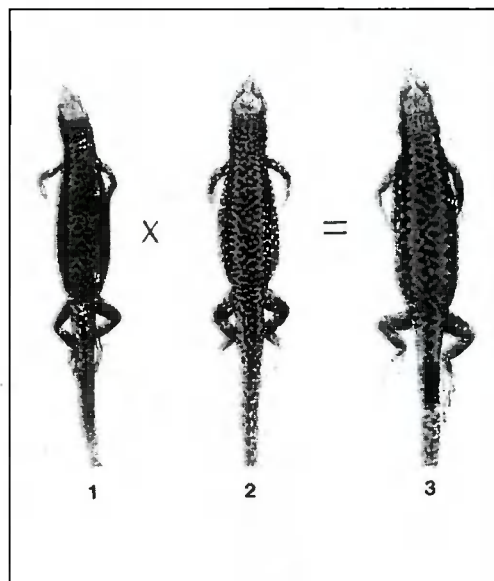
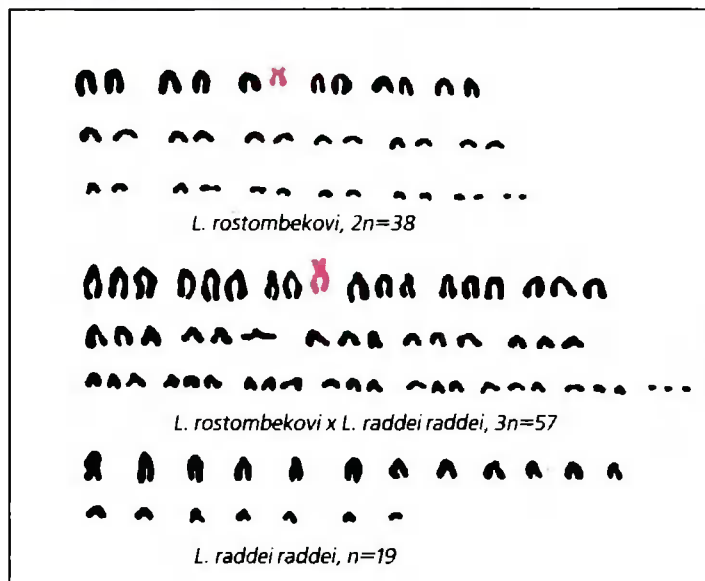
Сравнение полиморфизма RAPD с использованием различных праймеров (а—i) у гибридогенных партеногенетических видов скальных ящериц *L.rostombekovi* (1), *L.dabli* (3) и одного из родительских, по отношению к ним, двуполой видов *L.portschinskii* (2). Лocusы ДНК, заимствованные обоими однополыми видами от их двуполой «отцовской» формы, выделены цветом.

ветственно у партеногенетического вида диплоидный набор имеет по одной разноокрашенной хромосоме, заимствованной от обоих родителей, что указывает на имевшую место межвидовую гибридизацию. Другой стойкий маркерный признак кариотипов скальных ящериц проявляется в виде присутствия мелкой (редуцированной) половой хромосомы (типа W), которую все партеногенетические виды унаследовали от разных материнских видов, тогда как вторая половая хромосома (Z) досталась им от отцов. Другими словами, у скальных ящериц носитель гетероморфных половых хромосом — не мужской пол (по типу XY), а женский (по типу WZ), а по типу ZZ у них гомогаметны самцы*. Мы уже говорили, что скальные ящерицы легко вступают в естественную межвидовую гибридизацию, причем по понятной причине для нас особенно были интересны гибриды между партеногенетическими самка-

ми, спаривающимися с самцами обитающих совместно бисексуальных форм.

Говоря о гибридизации, напомним, хотя бы в общих чертах, о роли оплодотворения в процессе размножения у животных. Не вникая в цитогенетические подробности, можно сказать, что биологический смысл этого процесса — происходящее при оплодотворении слияние мужской половой клетки (сперматозоида) с женской половой клеткой (яйцеклеткой). От всех остальных (соматических) клеток организма обе эти половые клетки отличаются прежде всего редуцированным (уменьшенным вдвое) числом хромосом. Так, если в соматических клетках скальных ящериц имеется, как мы помним, по 38 хромосом ($2n = 38$), то в каждой из половых клеток их 19 ($n = 19$). Нормальное удвоенное число хромосом называют при этом диплоидным, а уменьшенное вдвое — гаплоидным. При слиянии мужской и женской половых клеток (гамет) число хромосом в оплодотворенном яйце (зиготе) увеличивается до

* Куприянова Л.А. // Цитология. 1997. Т.39. С.1089—1109.



Диплоидный набор хромосом партеногенетической самки *L. rostombekovi*, гаплоидный набор самца двуполого вида *L. raddei* и триплоидный набор стерильного гибрида между ними. Имеющиеся в наборах материнской формы и гибрида непарные субметацентрические хромосомы отмечены цветом.

Партеногенетическая самка *L. armenica* (1), самец двуполого вида *L. valentini* (2) и образующийся в результате их скрещивания стерильный триплоидный гибрид (3). Обращают на себя внимание более крупные, чем у родителей, размеры тела последнего.

диплоидного, и развивающийся из него зародыш, как и оба родителя, вновь имеют $2n = 38$. Это довольно сложный процесс, но в данном случае достаточно знать, что оплодотворенное яйцо неизменно заимствует равное число хромосом от отца и матери. Однако так происходит лишь при нормальном оплодотворении с участием обоих полов. У партеногенетических же видов слияние мужской и женской половых клеток не происходит, тем не менее развивающийся из яйца зародыш также обладает удвоенным числом хромосом. Это, противоречивое на первый взгляд, обстоятельство объясняется тем, что при однополом размножении недостающий гаплоидный набор образуется не за счет половинного числа хромосом, приносимых сперматозоидом, а восстанавливается в результате слож-

ных цитогенетических преобразований, протекающих внутри самой яйцеклетки. В зависимости от типа партеногенеза характер таких преобразований бывает различен, но в результате всегда восстанавливается удвоенный набор хромосом, с той лишь существенной разницей, что теперь он имеет уже не смешанное материнское и отцовское происхождение, а обе составляющие его половины — производные одной и той же женской половой клетки. Понятно, что образующийся при этом зародыш лишен отцовской генетической информации, со всеми вытекающими из этого последствиями, сказывающимися, в частности, на морфологических признаках развивающегося партеногенетического потомства.

Представим себе теперь, что же происходит при спаривании партеногенетической

самки с самцом одного из встречающихся совместно двуполовых видов. В этом случае к партеногенетически удвоенному чисто женскому хромосомному набору вместе со сперматозоидом добавится третий мужской гаплоидный набор, в результате чего зигота и развивающийся из нее зародыш станут триплоидными — $3n = 57$. Такие аллотриплоидные (происходящие от спаривания разных видов) гибриды действительно встречаются в природе и составляют иногда до 10—12% всех особей в смешанной популяции. Как и следовало ожидать, они обладают признаками отцовского и материнского видов, причем материнские признаки, в соответствии с двойной дозой женского генома, у них преобладают над отцовскими. Добавим, что у триплоидных гибридов резко выражен так называемый гетеро-

Группа самок
партеногенетического вида
L.unisexualis, обогреваемых
под солнцем в естественных
условиях.



зис, проявляющийся, в частности, в заметном возрастании размеров тела и головы. Не удивительно поэтому, что нахождение в природе столь необычных ящериц приводило в отчаяние систематиков, которые, не ведая об истинной их природе, безуспешно пытались привязать их то к одному, то к другому из уже известных видов или, более того, выделять в качестве самостоятельных видовых форм. Естественно, триплоидный кариотип гибридов содержит два хромосомных набора, полученных от самки и один — от спарившегося с ней самца. Это особенно ярко демонстрируется в случае, когда матерью становится ящерица Ростомбекова, специфический кариотип кото-

рой содержит одну субметацентрическую хромосому, присутствующую также в хромосомном наборе гибрида.

Среди триплоидных гибридов встречаются как самки, так и мужские особи, причем первые из них лишены яичников и полностью стерильны, а плодовитость вторых если и проявляется (в их семенниках обнаружены жизнеспособные сперматозоиды), то значительно понижена. Триплоидные особи, как и все нечетно-полиплоидные организмы, в случае когда они плодовиты, к бисексуальному размножению не способны и могут производить себе подобных лишь посредством партеногенеза. Большая часть партеновидов *Cnemidophorus* имеет именно такую природу.

Среди различных групп ящериц в настоящее время известны многие плодовитые триплоидные партеногенетические виды, в том числе и описанные нами некоторые вьетнамские гекконы и агамы. Что же касается скальных ящериц, то их триплоидные самки, как уже говорилось, представляют собой эволюционный тупик, тогда как у самцов есть некоторая эволюционная перспектива, связанная с теоретической возможностью продуктивного спаривания с самками как двуполых, так и партеногенетических видов. Пока это лишь плод наших размышлений и требует специального изучения, чем мы и планируем заняться в дальнейшем.

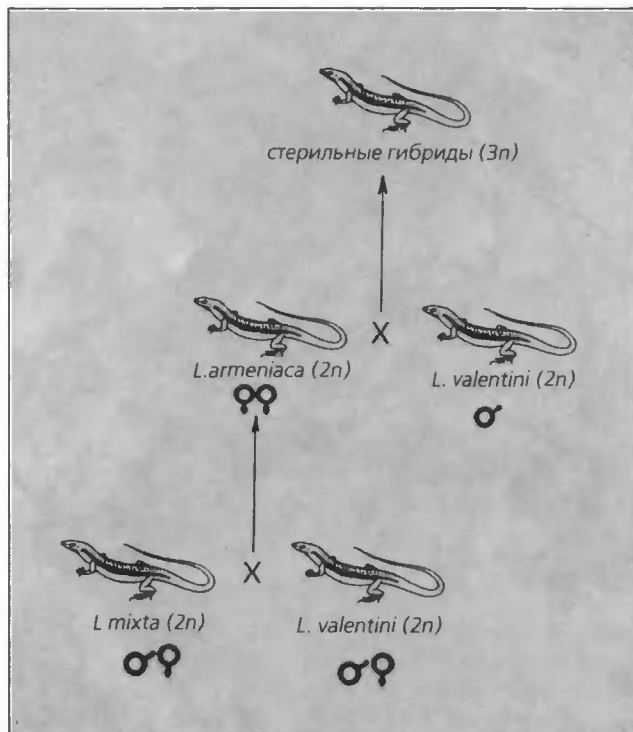


Схема гибридогенного образования (сетчатой эволюции) партеногенетического вида *L. armeniaca* с последующим обратным скрещиванием и образованием триплоидных гибридных особей.

Очевидное преимущество однополого размножения у скальных ящериц заключается в том, что благодаря ему происходит удвоение темпов размножения вида, поскольку все особи в популяции представлены только самками. Действительно, если иметь в виду, что у бисексуальных видов по крайней мере половина особей — не оставляющие потомства самцы, то преимущества, связанные с заменой их самками, становятся очевидны. Таким образом, партеногенетическое размножение постоянно способствует поддержанию высокой численности вида, что особенно важно, если в силу тех или иных причин, как это наблюдается иногда в действительности, она может подвергаться значитель-

ным колебаниям. Интересно, что если в популяциях двуполовых видов, особенно в период размножения, наблюдаются необычайная суеда и оживление, вызванные дерущимися друг с другом и преследующими самок самцами, то в плотных поселениях партеногенетических самок обычно царят «мир и благоволение» и их можно наблюдать большими группами, бок о бок мирно обогревающимися под солнцем.

Принято считать, что подавляющее большинство всех видов современных животных исходно образовалось в процессе медленной дивергентной эволюции, в соответствии с классической теорией Дарвина. Что же касается партеногенетических видов скальных ящериц, то, как нам уда-

лось показать это с помощью различных методов, они образовались принципиально иным путем: в результате не разделения, а напротив — схождения филетических линий, т.е. благодаря естественной межвидовой гибридизации. Схематически этот процесс можно представить в виде характерной сети из сходящихся и перекрещивающихся филумов, откуда происходит и название самого термина «сетчатая», или «ретикулярная» (у англоязычных авторов), эволюция.

К настоящему времени накопилась обширная литература, свидетельствующая о том, что именно в результате сетчатой эволюции образовались многие диплоидные и триплоидные виды не только различных ящериц, но также земноводных и рыб. Как явление, диаметрально противоположное процессу эволюционной дивергенции, любая гибридизация, казалось бы, не должна способствовать процессу видообразования, и всего лишь три десятилетия назад известный американский зоолог и эволюционист Э.Майр, основываясь на ряде теоретических предпосылок, полагал, что «гибридогенное видообразование хотя и часто постулировалось, но ни разу доказано не было». Однако сегодня мы знаем уже десятки видов в различных группах животного и растительного мира, происхождение которых связано именно с процессом межвидовой гибридизации. Как здесь не вспомнить великого Гёте, утверждавшего устами своего Мефистофеля: «Теория, мой друг, мертва, но древо жизни зеленеет вечно».

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Грант №99-04-49334. ■

Живоглот с самозаклеивающимся ртом

К.Н.Несис,
доктор биологических наук
Москва

Гребневики — студенистые планктонные животные. Живут во всех полных морях от Арктики до Антарктики. Обычный гребневик — кусок прозрачного студня со свисающими вниз ловчими лопастями или щупальцами с липкими клетками. Гребневики — хищники: у большинства добыча — мелкий зоопланктон, который они цепляют щупальцами или загоняют в рот ловчими лопастями. По всему телу, почти от макушки до рта, тянутся восемь продольных рядов гребневых пластинок — сотни крохотных весел. Отсюда и название «гребневик», по-английски «comb-jelly» («гребенчатая медуза»). На свету пластинки ярко иризируют (иризация — радужная игра цветов), а в темноте весь гребневик светится (люминесцирует), как китайский фонарик. Удивительно красивое животное, но очень примитивное — почти нет мускулатуры, нервная система диффузная (рассредоточенная), органы чувств слабо развиты. И тело такое нежное, что многие гребневики при попытке поймать их сетью либо зафиксировать формалином или спиртом тут же распадаются и превращаются в бесформенный комочек слизи. Одним словом, желстелый планктон.

И вот такое примитивное

животное может натворить столько бед, что куда умнице волку! В 1987—1988 гг. в Черное море, а затем и в Азовское вселился с атлантического побережья США гребневик мнемипсис (*Mnemiopsis leidyi*)¹. Очень быстро размножился в невероятных количествах и сожрал личинок промысловых рыб и кормовую базу планктоноядных рыб — рыболовство на двух морях почти прекратилось. Убытки многомиллиардные!

Есть гребневики, не имеющие ни ловчих лопастей, ни щупалец. Одна громадная пасть. Это род *Beroe*. В Древней Греции так звали одну из нимф, дочерей Океана. А поскольку нимфа — женщина, то в русской литературе этого гребневика иногда называли бероя. Но такое написание не прижилось.

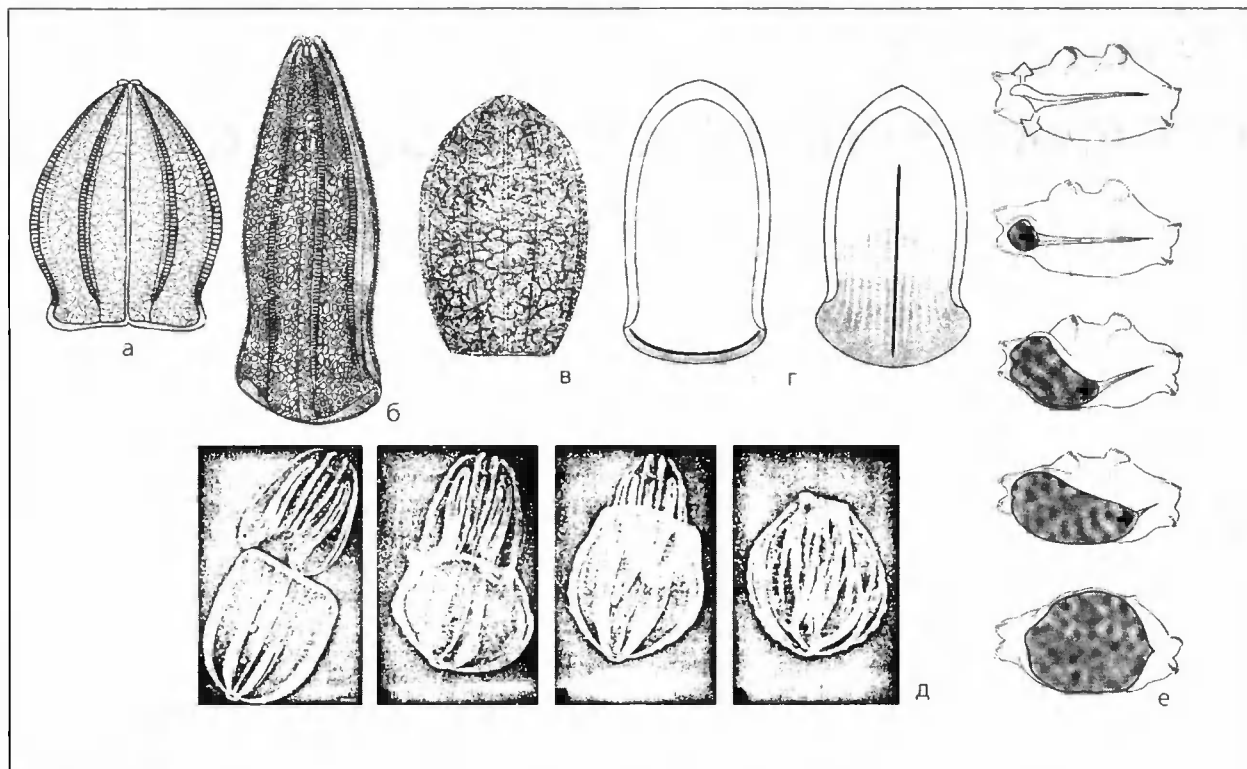
Одни виды бероз похожи на бокал для вина, другие на огурец или епископскую митру, но форма живых особей может сильно меняться. Цвет их светло-фиолетовый, розовый или пунцовый. Питаются они не зоопланктоном, а почти исключительно другими гребневыми, лишь иногда поедают медуз. Гребневые пластинки у бероз крупные, и плавают эти животные ртом вперед и довольно быстро, несколько сантиметров в секун-

ду. Вот, например, овальный бероз (*B.ovata*), широко распространенный тропическо-субтропический вид, обитающий главным образом вблизи побережий. Он похож на сплюснутый с боков тонкостенный бокал для вина высотой 6—7, иногда 10—12 и даже 16 см. Подплывает такой «бокал», скажем, к мнемипсису и просто засасывает его, благо рот — самое широкое место тела гребневика. По краям рта располагается узкая полоска клеток с прочными макроресничками, напоминающими зубы, так что бероз может даже перекусить мнемипсиса пополам. Но обычно он заглатывает его целиком, и несчастная жертва долго еще работает гребневыми пластинками и вертится в объемистом желудке хищника. Бероз способен заглатывать добычу размером с самого себя! В 1997 г. *B.ovata* проник из Средиземного моря в Черное, а летом 1999 г. стал массовым и начал с упоением пожирать мнемипсисов². Суточный рацион бероз может равняться собственному весу и даже превышать его. Очень полезный оказался живоглот!

¹ См.: Виды-вселенцы в европейских морях России. Тезисы докладов научного семинара. Мурманск: Мурман. мор. биол. ин-т РАН, 27—28 января 2000; см. также: Игнатьев С.М., Зуев Г.В. Новый чужеродец в Черном море // Природа. 2000. №5. С.26—30.

² Виноградов М.Е. Нашествие чужеродец // Природа. 1993. №9. С.3—10.

© К.Н.Несис



Массовые виды гребневиков рода *Beroë*: а — *B. ovata*, б — *B. forskalii*, в — *B. cuscumis*; г — схема расположения липких полосок (черная линия) и клеток с макроресничками (точки) у *B. ovata* (слева) и *B. forskalii* (справа); д — последовательные кадры видеосъемки: овальный бероз *B. ovata* заглатывает гребневика мнемипсиса *Mnemiopsis leidyi*; е — процесс раскрывания рта у *B. ovata* по кадрам видеосъемки (тонкая линия между губами — липкая полоска, белые и черные стрелки — направление первоначального раздвижения губ и дальнейшего раскрывания рта; рот заштрихован).

Но как может животное, самое широкое место которого — рот, плавать ртом вперед? Ведь сопротивление воды при этом максимальное, а мускулатура у гребневика слабая! И как он ухитряется не выпустить из рта добычу, если она и потом еще долго трепыхается у него в желудке? Эту загадку разрешили многолетние исследования супругов С. и С.Тамм из Бостонского университета в США³, поставивших эпиграфом к одной из своих статей поговорку американских военных моряков времен 1-й мировой войны:

³Tamm S. L. // Microscopy Research and Technique. 1999. V.44. №4. P.293–303; Tamm S. L., Tamm S. // Biol. Bull. 1991. V.181. №3. P.463–473.

«Губошлепы корабли топят». Оказалось, что овальный бероз вовсе не губошлеп, его рот обычно полностью заклеен и открывается только тогда, когда хищник хватается добычу!

Губы овального бероз окаймлены полоской (шириной 0.2 мм) однослойного уплощенного эпителия, клетки которого необычно высоки — 20–25 мкм. Эта полоска проходит сразу позади линии зубовидных макроресничек. Всего таких липких кдеток на каждой губе больше 100 тыс. Когда рот закрыт, край каждой клетки занимает сильно складчатая мембрана со множеством пальцевидных выростов, и выросты одной губы плотно входят между зеркаль-

но симметричными им выростами противоположной, как у застежки-липучки. Между клетками двух губ остается ничтожно малое пространство, около 0.015 мкм, как обычно в межклеточных пространствах тканей. Губы срастаются в полном смысле этого слова! Соединение губ происходит автоматически: если отделить одну губу, разрезать ее пополам и сложить обе половинки, то через 10–15 мин они срастутся так же прочно, как обе губы живого гребневика. Для этого не нужно ни мышечной, ни нервной активности. Анестезированный солями магния гребневик держит рот прочно закрытым. Естественно, когда рот заклеен, тело

гребневика становится обтекаемым и сопротивление воды при плавании резко уменьшается.

Слой выростов содержит белок F-актин, который в обычных клетках у самых разных организмов обеспечивает жесткость клетки и сохранение ее формы. А развитие и соединение выростов осуществляется с помощью белка из семейства интегринов (их функция ясна из названия), скорее всего — кадгерина. Он обеспечивает возникновение белок-углеводных связей между поверхностями клеточных мембран. Для его работы (как и для работы множества самых разнообразных белков) необходимо присутствие ионов кальция. В искусственной морской воде, лишенной кальция, бероз закрыть рот не может.

Рот гребневика раскрывается немедленно, как только он почувствовал добычу. В эксперименте для этого достаточно коснуться его губ кусочком вареного яйца. Сначала открывается щелочка в углу губ, затем края губ начинают расходиться, расщеп продвигается по всей длине рта и наконец превращается в широко разверстую пасть. Этот процесс длится всего 0.2—0.3 с! Естественно, столь быстрая реакция может осуществляться только посредством нервно-мышечной системы. Супруги Тамм обнаружили под основанием эпителиальных клеток в выстилке губ сплетение гигантских (конечно, по гребневиковым масштабам), диаметром 6—8 мкм, нервных клеток. Они получают сигналы от чувствительных клеток, воспринимающих запах или прикосновение добычи, и посылают сигналы продольной мускулатуре и липким эпителиальным клеткам. Время, необходимое нервному сигналу, чтобы

пройти расстояние в 20—25 мкм от нервных клеток до поверхности эпителиальных, 0.2—0.3 с. По нервному сигналу в липких клетках происходят поистине драматические изменения! Слой пальчатых выростов мгновенно исчезает, края клеток становятся совершенно гладкими. Происходит это, скорее всего, вследствие полной деполимеризации нитей актина под действием белков гельзолина (превращающего гель в золь) и кофилина. Они распространены также в самых разных клетках разнообразных организмов и участвуют в многочисленных клеточных реакциях на стимулы и сигналы. Нервный импульс запускает открытие кальциевых каналов на поверхности клеточных мембран, а кальций активирует гельзолин. Только первоначальное раскрытие щелочки в углу губ требует сокращения мышц. Рот расклеивается в сто раз скорее, чем заклеивается!

Когда бероз проглотит добычу, его рот снова заклеивается, и он неторопливо уплывает прочь, чтобы переварить гребневика-жертву.

Самозаклеивающиеся губы обнаружены только у одного из пяти исследованных супругов Тамм видов бероз, у *B.ovata*. Другой вид, *B.forskali*, обитатель открытых вод в тропиках и субтропиках и самый крупный вид бероз (до 20, в отдельных случаях даже до 40 см) имеет совсем иное расположение липких полосок: они проходят вдоль тела. На правой и левой половине тела полоска крупных липких клеток (таких же, как у овального бероз) начинается чуть отступая от макушки и кончается вблизи рта. Кроме того, внутренняя сторона рта и желудка выстлана множеством клеток с крупными макроресничка-

ми, расположенными сплошным покровом вблизи рта, а дальше — продольными полосками; к концу тела они становятся уже и реже, а потом совсем исчезают. Таким образом, у *B.forskali*, в отличие от *B.ovata*, склеиваются не губы, а вся передняя половина глотки и желудка, которые делятся на правую и левую половину, а рот может смыкаться лишь в одной точке — между серединами губ. Зачем это нужно, о том супруги Тамм не говорят. Рискуно предположить, что это — нечто подобное мускулистому желудку птиц: сжимая половины тела (а тело у этого вида еще более уплощено с боков, чем у овального бероз), гребневик расплющивает добычу макроресничками, раздавливает ее пополам липкими полосками и постепенно сгоняет в заднюю часть желудка, что сильно ускоряет процесс пищеварения.

А вот у холодноводного бероз «огурца» *B.cucumis*, самого обычного обитателя северных и дальневосточных морей России (он встречается и у берегов, и в открытом море и достигает длины 15 см), ничего подобного нет. Его слегка сжатое с боков тело более прочно и мускулисто, чем у других видов бероз, не рвется в руках, рот относительно узок и стягивается почти в точку, к тому же глубинная часть глотки может замыкаться в щель, так что рот держится закрытым без всяких липких полосок. И плавать не мешает, и хорошо удерживает заглоченную добычу.

Вот какие хитрые и изощренные приспособления для плавания и охоты есть у, казалось бы, совсем примитивных животных. И ведь это не «новоизобретения», а рациональное использование давно придуманных природой клеточных механизмов!■

Пурпурная тайна

(Рассказ о наследственности венценосных особ и нарушениях обмена веществ)

Дж.С.Рёль, М.Дж.Уоррен

Уже много веков человечество размышляет над тем, что движет историей. Свои ответы предлагали философы, социологи, историки, политологи, культурологи. Но, пожалуй, никогда еще исследования, касающиеся важных эпизодов исторического процесса, не подвергались такому активному вмешательству со стороны представителей естественнонаучного знания, как сегодня. Это утверждение имеет прямую связь с публикуемым ниже очерком. Представим его авторов. Английский историк Джон Рёль, профессор университета Суссекса, известен как автор ряда монографий по истории Германской империи и считается сегодня самым авторитетным биографом кайзера Вильгельма II. Его книга «Кайзер и его Двор» (The Kaiser and his Court) в 1994 г. была удостоена одной из самых престижных профессиональных наград Великобритании — Wolfson History Prize. Биохимик Мартин Уоррен возглавляет лабораторию в департаменте молекулярной генетики Университетского колледжа в Лондоне, где занимается изучением молекулярных основ наследственных и приобретенных болезней. Он автор многочисленных статей по молекулярной структуре ферментов, участвующих в биосинтезе крови. В 1998 г. английское издательство «Bantam Press» опубликовало книгу Дж.Рёля, М.Уоррена и Д.Ханта «Пурпурная тайна: Гены, безумие и королевские дома Европы» (J.C.G.Ruhl, M.J.Warren and D.Hunt. Purple Secret: Genes, «Madness» and the Royal Houses of Europe), ставшую примером плодотворного сотрудничества историков и молекулярных генетиков, исследовавших роль порфирии — тяжелого психо-соматического недуга — в генеалогическом лабиринте королевских династий. Этот почти детективный сюжет лежит и в основе научно-популярного очерка, с переводом которого предстоит познакомиться нашим читателям. Следует добавить, что он написан специально для «Природы».

М.Ю.Сорокина

Москва

Долго считалось, что между историей и естественными науками тесных соприкосновения нет. Такое положение начало, однако, меняться с внедрением методов судебной медицины, использующих характеристики дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Появилась развивающаяся дисциплина — генетическая историография, в которой сочетание методов упомянутых областей знания позволило реализовать недо-

стижимую прежде в исторической науке точность¹. Самой, вероятно, интересной работой в этой новой области стало исследование, позволившее идентифицировать останки семьи Романовых и раз-

¹Здесь хотелось бы напомнить о блестящих историко-генетических исследованиях нашего выдающегося генетика В.П.Эфроимсона (1908—1989), которые начали публиковаться в начале 70-х годов. Сравнительно недавно, уже посмертно, вышла его книга «Гениальность и генетика» (М., 1998), о которой сообщалось в нашем журнале. См.: Голубовский М.Д. Гены, активность интеллекта и судьбы людей в истории // Природа. 1999. №7. С.113—120. — *Примеч. ред.*

венчать легенду об Анне Андерсон — якобы спасшейся царевне Анастасии. В настоящее время ведутся еще более интригующие исследования с целью выяснения вопроса о «безумии» короля Георга III.

Король Георг III правил Великобританией и Ирландией с 1760 по 1820 г. За это время в стране завершилась промышленная революция и был заложен фундамент Британской империи. Однако в этот же отрезок времени произошла унижительная утрата американских колоний, восприня-

тая короной с таким замешательством, что некоторые считают ее причиной умопомрачения короля.

Действительно, не подлежит сомнению, что король Георг III временами страдал столь сильными нервными расстройствами, что получил прозвище Безумного. Случаи «безумного» поведения серьезно повредили репутации короля и в 1788 г. спровоцировали скандальный «кризис регентства», когда его старший сын (впоследствии король Георг IV) попытался установить над отцом опеку, а сам стать принцем-регентом. Этот исторический эпизод не только продемонстрировал уязвимость монархии в качестве системы правления в тот самый момент, когда за Ла-Маншем начиналась Французская революция, но и послужил сюжетной основой для пользовавшейся успехом пьесы Алана Беннета «Безумство короля Георга», а затем и одноименного кинофильма.

Однако что же в действительности было не так с Георгом III? Известно, что король перенес четыре главных при-

ступа «безумия»: в 1788—1789, 1801, 1804 и 1810 гг. Кстати говоря, последний совпал с началом развития старческого слабоумия и наступления слепоты. Первые три приступа продолжались сравнительно недолго, по несколько месяцев, и даже в это время наступали периоды, когда король казался вполне здоровым. После смерти короля приступы его «безумия» были объяснены манией. Этот диагноз равносителен тому, что психиатры позже стали называть маниакально-депрессивным психозом.

В 1966 г. два британских психиатра немецкого происхождения, Ида Макальпин и ее сын Ричард Хантер, предложили совершенно иное и вполне логичное объяснение «безумия» короля. Роясь в исторических архивах, они обнаружили, что приступы психического расстройства Георга III всегда сопровождались несколькими физическими симптомами, в том числе хромотой, болями в брюшной полости и коликами, тошнотой, запорами, трудностью засыпания, обильным потоотде-



Британские психиатры Ида Макальпин и Ричард Хантер, предложившие неожиданное объяснение «безумного» поведения короля Георга III. Их гипотеза — наследственная болезнь под названием «вариегатная порфирия» — находит подтверждение в современных исследованиях. Фото 1968 г.



Дж.Рэль, М.Уоррен и Д.Хант. Отдых по дороге в Ковары (Польша), где находится могила Феодоры, правнучки королевы Виктории. Фото 1996 г.

лением, частым пульсом, гиперчувствительностью к свету, звукам и прикосновениям, кожной сыпью и — вот вещный симптом! — красным, оранжевым, коричневым или пурпурным цветом мочи. Это, как поняли британские психиатры, характерные признаки редкой наследственной болезни, именуемой острой перемежающейся порфирией.

Болезнь вызывается нарушением метаболизма порфирина (от греческого *порфύρα* — пурпур), пигмента красного цвета. Самое известное железосодержащее соединение, включающее этот пигмент, — гем — представляет собой весьма сложную и крупную циклическую молекулу с атомом железа в центре. В организме животных порфирин синтезируется в шесть



Георг III. Портрет кисти Алана Ремсея.

стадий с помощью специальных ферментов. На седьмой стадии к порфирину присоединяется атом железа и образуется гем. Цепь реакций биосинтеза гема изучена уже довольно давно, но гены, которые кодируют ферменты, определены сравнительно недавно.

Для каждого из них известен наследственный дефект, вызывающий соответствующую форму порфирии. Из-за нарушения той или иной стадии синтеза гема, где идет этот процесс (он особенно активен в клетках печени), накапливаются промежуточные продукты. Постепенно они выводятся из организма и часто, будучи окрашенными, делают мочу похожей цветом на портвейн.

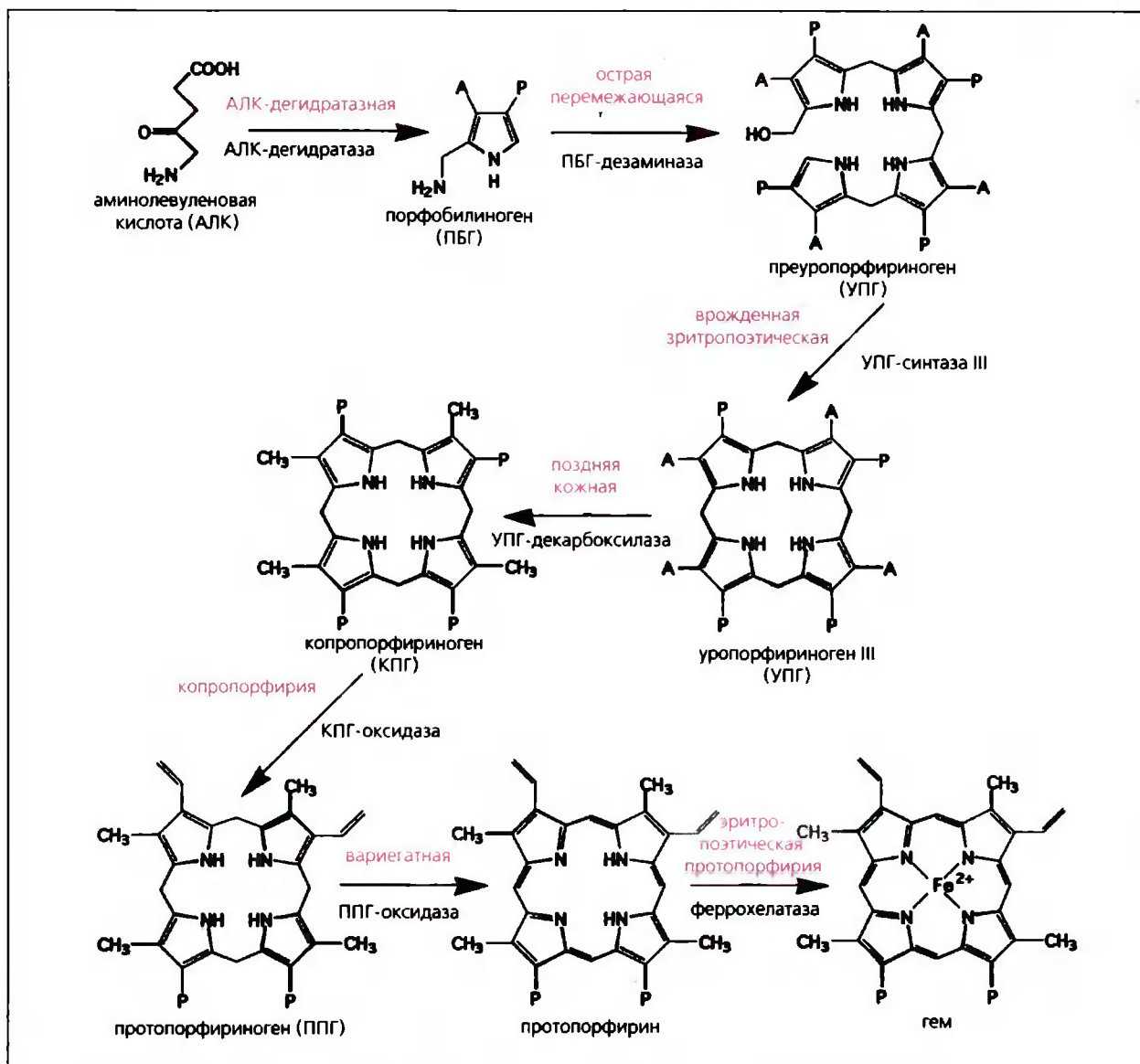
Именно промежуточные продукты синтеза гема вызы-

вают большинство симптомов, характерных для этой порфирии. Если нарушены ранние стадии образования порфирина, накопление промежуточных продуктов приводит к подавлению вегетативной нервной системы. Механизм такого подавления пока недостаточно изучен, но установлено, что он служит причиной острых, хотя обычно и коротких, приступов этой болезни, сопровождающихся периферической невропатией, сильными болями в брюшной области и психическими расстройствами. Накопившиеся на более поздних стадиях порфирины делают кожу очень чувствительной к свету (прямые солнечные лучи вызывают появление волдырей) и создают серьезные проблемы с печенью. Один из видов порфирии, сопровождающий-

ся как описанными острыми симптомами, так и светочувствительностью, получил название вариегатной (пестрой) порфирии. Сначала Макальпин и Хантер поставили Георгу III диагноз острой формы порфирии, однако позже, когда обнаружили указания на повышенную чувствительность кожи короля к солнечному свету, изменили его на вариегатную порфирию.

Большинство видов порфирии передается по наследству в качестве аутосомного доминантного аллеля. Это означает, что страдающий такой болезнью родитель с вероятностью 50% передает ее любому из своих детей независимо от пола. Однако не каждый, кто получил от родителей дефектный аллель синтеза порфирина, обязательно заболевает, шанс появления какого-либо из симптомов болезни фактически меньше 20%. Приступы порфирии, по-видимому, учащаются, если синтез гема стимулируется, например, пищей, алкоголем и некоторыми лекарствами, особенно сульфониламидами и барбитуратами.

Утверждение Макальпин и Хантера, что Георг III отнюдь не был безумцем, но страдал, очевидно, наследственной порфирией, вызвало переполох как среди историков, так и среди медиков. Нам рассказывали, что «British Medical Journal» сначала фактически отказался печатать статью Макальпин и Хантера и лишь потом принял ее, после произошедшей по счастливой случайности смены редакторов. Однако даже впоследствии, когда поставленный Макальпин и Хантером диагноз был признан большинством историков и биографов скорее всего справедливым и позволяющим объяснить характер и государственные дела Георга III, некоторые из видных экспертов-медиков, в частности профессора С.Ю.Дент и Дж.Дин, продолжа-



Биосинтез гема. Под стрелкой указан фермент, дисфункция которого приводит к возникновению определенного вида порфирии, обозначенного над стрелкой.

ли настаивать на недоказанности и даже неправильности диагноза. Эти оппоненты сделали немало для того, чтобы Макальпин и Хантер, по настоянию известного биохимика К.Римингтона, изменили первоначальный диагноз на вариегатную порфирию. И тем не менее Дин отметил, что описанные Макальпин, Хантером и Римингтоном симптомы королевской болезни отличаются от симптомов тех

тысяч случаев вариегатной порфирии в популяции южноафриканских буров («африканеров»), изучением которых он прославился. Критики, похоже, не обратили внимания на трудность в диагностике болезни человека, который умер полтора года назад. Кроме того, они оказались не в состоянии учесть значительную вероятность того, что благодаря устойчивой традиции инбридинга (близкород-

ственных браков) королевская разновидность наследственной болезни может заметно отличаться от той, которая встречается среди буров.

Чтобы ответить критикам и доказать справедливость своего диагноза, мать и сын применили два подхода. Во-первых, они прошли вверх и вниз по генеалогическому древу королевской семьи в поисках предков и потомков Георга III с аналогичными симп-



Принцесса Вики, старшая дочь королевы Виктории.



Принцесса Феодора, дочь Шарлотты, внучка Вики.



Принцесса Шарлотта, дочь Вики, на фоне своего любимого авто «Эйнджел».

томами, добравшись до шотландской королевы Марии Стюарт (1542—1587) и ее сына Джеймса I (1567—1625). Во-вторых, попытались разыскать ныне живущих членов королевской фамилии, страдающих порфирией и готовых поделиться медицинскими данными, которые подтвердили бы, что эта крайне редкая наследственная болезнь продолжает существовать в разросшейся ныне королевской семье. Поскольку эти данные должны были содержать результаты анализа кала и мочи пациента в периоды приступов, можно представить себе масштаб трудностей в решении задачи, поставленной перед собой исследователями в 1960-е годы. Хотя в конце концов они и заявили, что нашли двух таких пациентов, упоминаемых как «пациент А» и «пациент В», ни один из результатов этих анализов не оказался очень уж убедительным. Не успев добыть достаточно весомых данных, подтверждающих гипотезу порфирии, и Ида Макальпин, и Ричард Хантер стали жертвами рака, оставив нас перед не разгаданной до конца загадкой.

В 1986 г., во время своего визита в кафекианские архивы коммунистической Восточной Германии, один из авторов настоящей статьи, Дж.Рель, был первым допущен к бумагам профессора Э.Швенингера, одного из самых известных терапевтов имперской Германии и личного врача Бисмарка. Среди этих бумаг оказались многочисленные письма Швенингера от старшей сестры кайзера Шарлотты, наследной принцессы Сакс-Мейнингенской, в которых подробно и точно описывались ужасные симптомы болезни, которой она страдала всю свою жизнь. Несколько раз Шарлотта прямо упоминала «темно-красную мочу». Эти документы — явное доказательство порфирии

у прямого потомка Георга III. Вполне возможно, что тем самым подтверждается справедливость гипотезы Макальпин—Хантера.

Существуют ли доказательства, что Шарлотта унаследовала свою болезнь? Чтобы проследить передачу недуга по семейной линии, мы изучили историю болезни наследной принцессы Вики, которая была старшей дочерью королевы Виктории, а также матерью Шарлотты и кайзера Вильгельма II. В переписке Шарлотты с матерью (одно письмо каждые две недели), в тысячах ее писем к мужу и в дневниках ее мужа, которые он вел на протяжении 25 лет, похоже, нет ни одного упоминания о необычном цвете мочи, зато в изобилии называются все остальные симптомы порфирии. Можно точно датировать приступы у нее мучительных болей в глазницах, голове, спине, руках, животе и ногах, часто длившихся по несколько дней и даже недель.

В стремлении добыть необходимые генетические доказательства, которые убедили бы скептиков в кругах медиков и историков, мы наладили необычное сотрудничество между историками и представителями естественных наук. Мы знали о многочисленных исторических свидетельствах болезни в королевской ветви, к которой принадлежала принцесса Вики, однако нам были нужны такие доказательства присутствия дефектного гена, которые убедили бы всех. Со времен Макальпин и Хантера молекулярная генетика продвинулась вперед настолько, что стало возможно исследовать ДНК давно умерших людей и выяснять, унаследовали они или нет мутацию, вызывающую порфирию. Значит, перед нами открылась возможность продолжить исследования с того места, где остановились Макальпин

и Хантер, и разрешить наконец загадку болезни короля Георга III. Однако оставался вопрос: удастся ли нам получить образцы ДНК как живущих, так и умерших членов королевской семьи, чтобы подвергнуть их генетическому исследованию?

К достижению этой цели вело несколько путей. Во-первых, с помощью бумаг Макальпин и Хантера мы могли попытаться установить личность пациентов А и В и, если они уже скончались, найти потомков в надежде убедить их предоставить нам образцы их крови. Хотя нам удалось установить и пациента А, и пациента В, а также получить от племянника одного из них осторожное признание, что мы на верной дороге, этот путь не дал бы нам требуемых бесспорных доказательств.

Далее, нам пришлось в голову, что поскольку король Карл I (1600—1649) был обезглавлен, образец его крови наверняка остался на ткани, в которую после казни был завернут труп и которую скорее всего сохранила чья-то любящая рука. Этот образец и может быть проверен на присутствие дефектного гена. По счастливой случайности выяснилось, что это полотнище, окровавленная рубашка короля и шелковые подштанники хранятся у швейцарской леди, проживающей в Суссексе близ городка Батл, недалеко от места битвы, в которой Вильгельм Завоеватель одержал победу в 1066 г. Эта леди любезно разрешила нам изучить следы крови на одежде, которые могли содержать образцы ДНК Карла I. Задача оказалась непростой. Однако, получив образцы ДНК, мы не смогли обнаружить никаких мутаций в генах, ответственных за синтез порфирина. Кроме того, у нас не было полной уверенности ни в том, что эта одежда действительно принадлежала Карлу I, ни в том, что за прошедшие



Королева Виктория и ее родня. Кобург. Апрель 1894 г. Рядом с королевой сидит ее дочь Вики со своей внучкой Фео. Шарлотта, мать Фео, стоит правее центра, третья справа от своего дяди принца Уэльского (он в белом кителе). Слева от королевы Виктории — ее внук кайзер Вильгельм II, непосредственно за ними — великий князь Николай Романов и его супруга, урожденная Алиса Гессен-Дармштадтская, также внучка королевы Виктории (месяц спустя император и императрица России).

века образцы не пострадали от загрязнения. Не подогрело нашего энтузиазма и то, что ни один историк не упоминает о симптомах порфирии у короля-мученика.

Наша следующая попытка сулила несколько большую удачу. У сестры кайзера Шарлотты был единственный ребенок, дочь по имени Феодора. По сотням писем, написанных ею пожилой германской баронессе (мать которой была англичанкой из Эссекса), нам удалось восстановить ее крайне печальную и полную страданий историю. Летом 1945 г., когда солдаты Красной Армии постучались в ее дом, принцесса Феодора покончила жизнь самоубийством. В результате изменения границ после поражения Германии во второй мировой войне ее могила очутилась в нынешней Польше. Мы

надеялись, что власти благосклонно отнесутся к нашим просьбам и позволят нам увезти в Лондон образцы костей баронессы для исследования. Так оно и случилось.

Одновременно мы вели переговоры с властями Тюрингии (центральная часть Восточной Германии) в надежде получить разрешение на эксгумацию останков самой Шарлотты. Официальные лица отнеслись с пониманием к нашей необычной затее, которую они сочли важной для истории. В конце концов мы получили возможность вскрыть металлический гроб Шарлотты и взять из бедренной кости незагрязненные образцы с ДНК, чтобы провести их исследование в Лондоне. Девять месяцев спустя анализы дали положительный результат: был обнаружен небольшой де-

фект гена, ответственного за возникновение вариетатной порфирии, как раз того вида порфирии, которую мы все время и предполагали найти. Еще через два месяца именно эта мутация была обнаружена и в ДНК останков из могилы Феодоры, которые мы привезли из Польши.

Хотя прежде никто не отмечал, что эта мутация вызывает вариетатную порфирию, в более чем 350 контрольных экспериментах не было обнаружено подобных изменений. Это ясно показывает, что такие изменения нельзя считать простой вариацией в популяции. Поскольку же последствия обнаруженной мутации совпадают с симптомами, описанными Шарлоттой и Феодорой, мы считаем ее весьма вероятной причиной их болезни.



На свадьбе принца Ричарда Глостерского. Июль 1972 г. Справа от невесты сидит королева-мать. Слева от жениха — принц Чарлз и принцесса Маргарет. Уильям Глостерский стоит справа от невесты. Фото сделано за шесть недель до его гибели.

Параллельно описанным драматическим событиям велись исследования в совершенно ином направлении, которым и предстояло внести окончательную ясность. Несколько человек, близких к британской королевской семье, конфиденциально сообщили нам, что принцу Уильяму Глостерскому, первому племяннику нынешней королевы, погибшему в авиакатастрофе в 1972 г., врачами был поставлен диагноз вариегатной порфирии. В конце концов нам удалось установить контакт с доктором Х.Белрингером, которому тогда было 90 лет и который с готовностью сообщил нам, что поставил принцу Уильяму диагноз именно этой формы порфирии, а также что этот диагноз был подтвержден несколькими другими медицинскими авторитетами как Великобритания, так и Японии.

В результате мы получили надежные доказательства по-

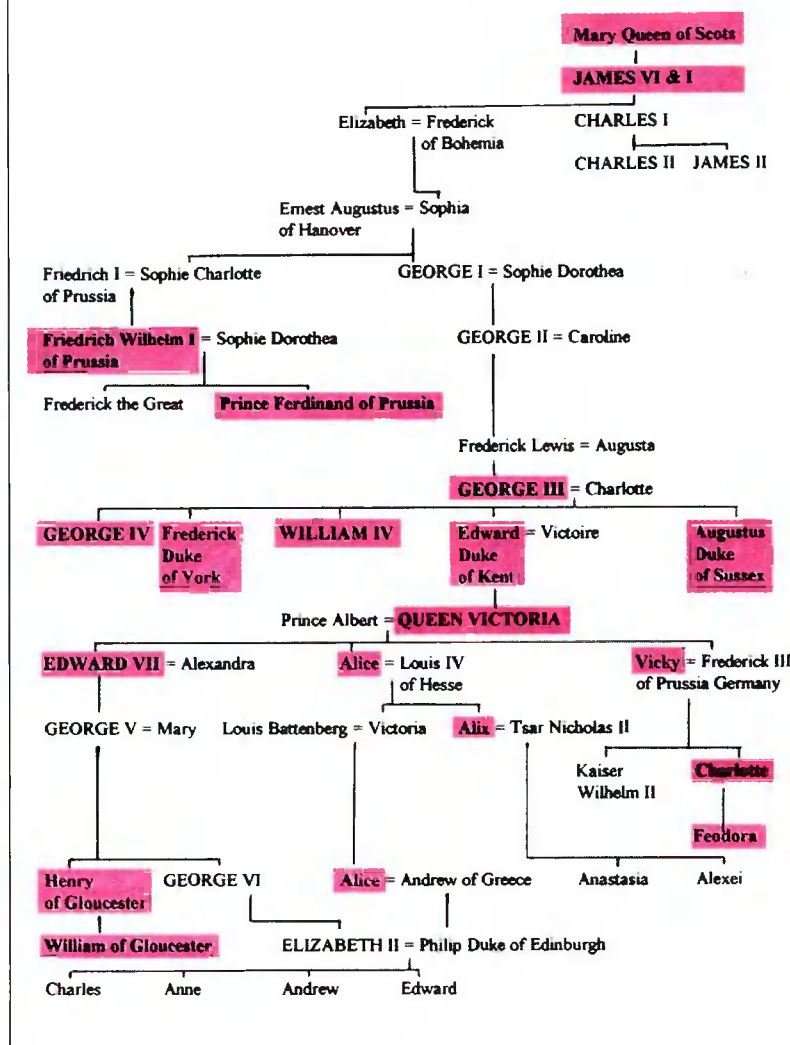
разительной гипотезы Иды Макальпин и Ричарда Хантера тремя различными способами: во-первых, путем изнурительных архивных поисков, с помощью которых мы смогли реконструировать историю болезни Георга III, тринадцати его выживших детей, в том числе принца-регента (впоследствии короля Георга IV), короля Уильяма IV и герцога Кентского, внуки Георга III королевы Виктории, ее старшей дочери Вики, старшей дочери Вики — Шарлотты и единственной дочери Шарлотты — Феодоры. Есть веские основания считать, что многие из них страдали от мучительной наследственной болезни, о которой они знали и которую между собой обсуждали, хотя до 1920-х годов медицинская наука была не в состоянии идентифицировать и назвать эту болезнь. Во-вторых, мы эксгумировали останки Шарлотты и ее дочери Феодоры и с помощью

анализа ДНК показали, что у обеих принцесс была генетическая мутация, приводящая к вариегатной порфирии. И в-третьих, мы получили медицинские доказательства того, что у принца Уильяма Глостерского, внука Георга V и королевы Марии, была та же разновидность болезни. Все это дает доказательства для подтверждения гипотезы Макальпин и Хантера, которые они искали, но не смогли найти.

Теперь мы можем утверждать, что Георг III не был безумцем, но унаследовал мутацию, нарушающую нормальный процесс кроветворения и вызывающую приступы, сопровождаемые физическими болями и временными психическими расстройствами.

Если сегодня задаться вопросом об историческом значении нашего исследования, то единственный ответ на него таков: пока об этом говорить рано, потому что долж-

THE ROYAL HOUSES OF EUROPE



Королевские дома Европы. Цветом обозначены персонажи, у которых зафиксированы те или иные симптомы порфирии.

но пройти много времени, прежде чем мы узнаем, кто еще был болен порфирией, не говоря уже о том, как эта болезнь повлияла на умственные способности членов королевской семьи. Изучая природу болезни Георга III, мы обратили внимание на подозрительные симптомы у некоторых его предков, в том числе у шотландской королевы Марии и ее сына короля Джеймса I, который жаловал-

ся своему швейцарскому доктору сэру Теодору де Майерну на то, что его моча «цвета вина аликанте». В настоящее время наша рабочая гипотеза состоит в том, что ген порфирии покинул Британские острова в 1613 г., когда Елизавета Стюарт (1596–1662), сестра Карла I, вышла замуж за будущего короля Богемии, и не возвращался на них до тех пор, пока сотню лет спустя ее потомок Георг I Ганноверский

(1660–1727) не унаследовал британский трон. Однако всего несколько месяцев назад нам повезло: мы смогли получить частицу перикарда (околосердечной сумки) Джеймса II, которая хранилась в запечатанном медальоне. Не стоит этому удивляться, хотя трудно не испытать разочарования: в этом образце мы не обнаружили королевской мутации гена, ответственного за синтез порфирина.

Наше исследование убедительно показало, что одно из главных предположений Макальпина и Хантера, а именно, что мутация ответственного за синтез порфирина гена не миновала родителей и дядьев королевы Виктории, оказалось неверным. Однако мы можем быть уверены, что с переходом Вики в прусский королевский дом ген порфирии перекочевал за Ла-Манш, в германские земли. Однако кто еще, кроме Шарлотты и ее дочери Феодоры, унаследовал его? Получил ли дефектный ген сам кайзер Вильгельм II, как подозревали многие и в Берлине, и в Лондоне? И не передал ли он его своему младшему сыну Иоахиму, который в 1920 г. совершил самоубийство после того, как ему был поставлен диагноз наследственной и неизлечимой, хотя не названной, физической и психической болезни? Не занесла ли порфирию вместе с гемофилией в российский царский дом Александра, последняя русская царица и еще одна внучка королевы Виктории? И не было ли это причиной ее почти непрерывных физических и психических страданий и эмоциональной неуравновешенности, которые так трагически влияли на ее мужа, Николая II? Сейчас, когда пишутся эти строки, ведется анализ ДНК ее останков.

О Перевод с английского
Ю.Ф.Орехова ■

Бюджет американской науки на 2001 г.

Правительство США представило на утверждение Конгресса проект бюджета на 2001 г. В нем существенно увеличены ассигнования на фундаментальные исследования в невоенных целях: по сравнению с текущим годом — на 7%; предусматривается довести их почти до 43 млрд долл. Кроме того, предстоит скорректировать имевшее место в последние годы завышенное финансирование биомедицинских исследований, от чего страдали менее «модные» отрасли знаний, в том числе физика и математика.

В 2000 г. Национальному научному фонду США было выделено 3,9 млрд долл. — на 17% больше, чем в предыдущем году. Теперь предусматривается новая прибавка. Системе национальных институтов здравоохранения бюджет увеличен на 4% и доведен до 17,9 млрд долл.

Впервые за ряд лет возрастают ассигнования на нужды НАСА — с 13,6 до 14 млрд долл. Среди программ НАСА целевое финансирование получают, в частности: собственно «космическая» наука (2,4 млрд, прибавка 9%), науки о Земле (1,4 млрд, 0%), «жизнь в космосе» и микрогравитация (0,3 млрд, +9%). Не оставлены без внимания исследования по физике Солнца и солнечно-земным связям (выделено около 20 млн долл.); они составляют часть программы «Living With a Star» («Жизнь со звездой»), согласно которой приборы, устанавливаемые на некоторых новых космических аппаратах, будут вести наблюдения солнечной активности как в прикладных целях (проблемы связи и дальней передачи электроэнергии), так и в фундаментальных.

Предусматриваются эксперименты с использованием солнеч-

ного ветра для движения оснащенных парусом спутников. Расширяется и финансирование программ, связанных с исследованием Марса.

Национальному управлению по изучению океана и атмосферы ассигнования повышаются на 20%, они достигнут 2,9 млрд долл. Геологическое управление Министерства внутренних дел получит 0,9 млрд долл., что означает прибавку на 10%. Управлению охраны природной среды научный бюджет сокращается на 1%; он составит 0,5 млрд долл. На исследования в межведомственных рамках программы «Глобальные изменения» выделяется на 2% больше (1,7 млрд долл.). Министерство энергетики, осуществляющее, помимо прочего, фундаментальные исследования по мирному использованию атомной энергии и разработку способов безопасного хранения ядерных отходов, получит для научных целей 3,2 млрд долл. (+12%).

Претерпят реструктуризацию научные разработки Министерства обороны США: на фундаментальные исследования выделяется 1,2 млрд долл. (+4%), на прикладные 3,1 млрд (–8%). Всего это ведомство получит 38,6 млрд долл. — ту же сумму, что в текущем году.

Таким образом, все государственные расходы США на исследовательские работы достигнут в 2001 г. 85,3 млрд долл. (+3% по сравнению с 2000 г.). Следует иметь в виду, что немалую сумму обычно составляют частные (промышленные) ассигнования, хотя они и касаются в большей мере прикладных, а не фундаментальных отраслей знания.

Наблюдатели отмечают, что в текущем году отношение в Кон-

грессе США к бюджетным предложениям правительства отличается со стороны обеих партий редкой согласованностью. Поэтому существенных изменений в проекте, представленном Белым домом, не предвидится.

Science. 2000. V.287. №5455. P.952, 954 (США).

Астрофизика

Откуда небесный Краб черпает энергию?

В фольклоре американских индейцев и в древних китайских хрониках, относящихся к 1054 г., содержатся сведения о появлении на небе новой яркой звезды. Сегодня астрономы знают, что то была сверхновая — невероятной силы взрыв отжившей свой век звезды, которая истратила весь запас ядерного топлива и разрушилась, породив Крабовидную туманность.

В 1968 г. было установлено, что внутри Краба существует сверхплотная нейтронная звезда (пульсар), вращающаяся со скоростью 30 об/с! Она занимает центральное положение среди расширяющегося облака — остатков этой давно разрушившейся звезды и, подобно маяку, испускает луч радиоволн. Но хаос, который царит в середине Крабовидной туманности, не позволял понять механизм, благодаря которому пульсар «поджигает» окружающее его облако и заставляет его светиться.

Новые возможности для астрономов открываются теперь благодаря выходу на околоземную орбиту в августе 1999 г. рентгеновской обсерватории «Чандра» (НАСА). Ее бортовые приборы начали наблюдения внутренней области Краба.

На полученных изображениях впервые удалось различить кольцеобразное рентгеновское свечение, окружающее пульсар на расстоянии примерно в 0,67 светового года ($1 \text{ св. год} = 9,463 \cdot 10^{12} \text{ км}$). Кроме того, установлено, что от пульсара в космическое пространство отходят два мощных выброса, также светящихся в рентгеновском диапазоне.

Новости науки

Астрофизики из Центра космических полетов им.Маршалла НАСА полагают, что подобные структуры вызываются к жизни электронами и позитронами, летящими в мощных магнитных полях пульсара почти со скоростью света. Магнитные поля вынуждают попавшие в них частицы двигаться по спиральным траекториям: приобретая ускорение, электроны и позитроны становятся источником синхротронного излучения в рентгеновском диапазоне.

Участвующий в обработке новой информации астроном Дж.Хестер (J.Hester) отмечает, что наиболее ярко рентгеновское излучение испускается самой динамичной частью туманности; как видно на нынешних изображениях Краба, форма волокон и выбросов иногда меняется на протяжении суток.

Science. 1999. V.286. №5438. P.211 (США).

Биология развития

Отклонение от оптимальных условий дает парадоксальный эффект

Исследователи, работающие с личинками разных лабораторных животных, уже давно определили оптимальные условия их содержания (температуру воды, pH, освещенность и т.п.), которые обеспечивают наиболее успешное выживание. Недавно выявлен парадоксальный эффект: периодическое отклонение этих параметров от стабильных оптимальных значений оказывает на животных не отрицательное, а положительное воздействие: ускоряется их рост, повышается устойчивость личинок к экстремальным воздействиям.

Сотрудник Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова А.С.Константинов и его коллеги показали это на примере головастиков, молоди рыб, коловраток, даже некоторых планктонных водорослей.

Головастиков исследователи

выводили из лягушачьей икры, взятой из естественных водоемов. Проклюнувшихся головастиков помещали в большие аквариумы, где создавали оптимальные для них условия. Через определенные промежутки времени выживших особей взвешивали, определяли их среднюю массу и отклонения от нее, устанавливали достигнутые стадии развития. Контрольные группы головастиков жили в стационарных условиях, а для экспериментальных групп они изменялись: у одних — в пределах «благоприятных» значений, у других наибольшие отклонения параметров выходили за благоприятную зону. И вновь оказалось, что головастики, находящиеся в условиях меняющихся параметров среды, развиваются быстрее, а их смертность ниже, чем у живущих в стационарных условиях. Более того, небольшие и кратковременные отклонения от благоприятных условий усиливали этот эффект, и только значительные и долговременные начинали оказывать отрицательное воздействие.

Авторы не берутся объяснить причину обнаруженного эффекта и лишь отмечают, что «живое возникло только приспособительно к неживому, существующему в динамике. Поэтому статичность среды угнетает жизнедеятельность гидробионтов, поскольку не соответствует их экологической норме».

Доклады Академии наук. 2000. Т.371. №4. С.559—562 (Россия).

Медицина

Экспериментальная иммунотерапия метастазов

В отделении иммунологии Скриппсовского исследовательского института (штат Калифорния, США) группой специалистов разработана новая методика иммунотерапии для борьбы с метастазами. Принцип этой стратегии заключается в одновременном применении двух компонентов: циклического пептида, который играет роль антагониста интегри-

на- α , и комбинированных моноклональных антител к слитным с интерлейкином-2 белкам. Первый компонент подавляет рост питающих опухоль мелких кровеносных сосудов за счет того, что в месте образования или удлинения капилляра антагонист препятствует связыванию (адгезии) клеток эндотелия, из которых начинают формироваться мелкие сосуды. В результате опухоль не получает питания и не проявляет обычной агрессивности. Второй компонент вовлекает в микроокружение опухоли дополнительные молекулы интерлейкина-2, который активизирует цитотоксические Т-лимфоциты, а те уничтожают метастазирующие клетки.

Эксперименты проводились на трех группах мышей одной и той же чистой генетической линии. Животным первой группы имплантировали клетки меланомы, другой — карциномы прямой кишки, третьей — нейробластомы. Мышам с привитыми опухолями ежедневно инъецировали либо контрольный синтетический пептид, не оказывающий на опухоль никакого действия, либо пептид-антагонист интегрин, либо моноклональные антитела, либо два последних препарата вместе.

Рост опухолей всех трех видов при раздельном лечении заметно снизился: меланомы и нейробластомы были в 1.5—2 раза меньше по сравнению с контролем (т.е. при введении синтетического пептида), а карцинома — примерно в 5 раз. При совместной терапии размер опухоли, независимо от ее вида, оказался еще в 4—5 раз меньше.

Влияние совместного лечения на спонтанное образование нейробластомных метастазов в печени оказалось очень эффективным, однако конечный результат зависел от того, начиналось лечение до удаления первичной привитой опухоли или после. В первом случае метастазы не возникали вовсе (при раздельном лечении лучший результат давал противоопухолевый, а не противосудистый препарат, тем не менее метастазирующие клетки все же

возникали), во втором — метастазы появлялись, но в значительно меньшем количестве, чем у животных контрольной группы.

Поскольку модельные опухоли мышей чрезвычайно близки к человеческим новообразованиям, авторы считают разработанное ими направление терапии метастазов перспективным для онкологии.

Proceedings of the National Academy of Sciences of USA. 1999. V.96. P.1591–1599 (США).

Экология

Быстрое формирование генотической устойчивости к токсичной водоросли

Озеро Констанц на границе Германии и Швейцарии в 60–70-е годы подвергалось интенсивному эвтрофированию из-за стока удобрений с окружающих полей. С 1969 г. в нем почти ежегодно наблюдалось цветение сине-зеленой водоросли микроцистис (*Microcystis aeruginosa*). (Столь же бурное цветение тогда отмечалось и в московских прудах, и в водохранилищах на Волге, Дону и Днепре.) К 1990 г. состояние озера улучшилось и цветение прекратилось.

Микроцистис токсичен для мелких водных животных, в том числе дафний, которые вынужденно поедают его, так как неспособны отбрасывать ядовитые клетки сине-зеленых водорослей и поглощать только съедобные одноклеточные. Летом дафнии размножаются партеногенетически (одни самки) и рожают уже сформированных маленьких дафний, которые через четыре–шесть дней сами способны рождать. Осенью, когда температура воды понижается, появляются самцы. Самки спариваются, и у них на спине образуется прочное хитинизированное «седлышко» с двумя оплодотворенными яйцами в крепкой оболочке. Самки сбрасывают «седлышки», которые опускаются на дно, и яйца покоятся в донном иле, оставаясь жизнеспособными на годы и десятилетия, храня всю генетическую

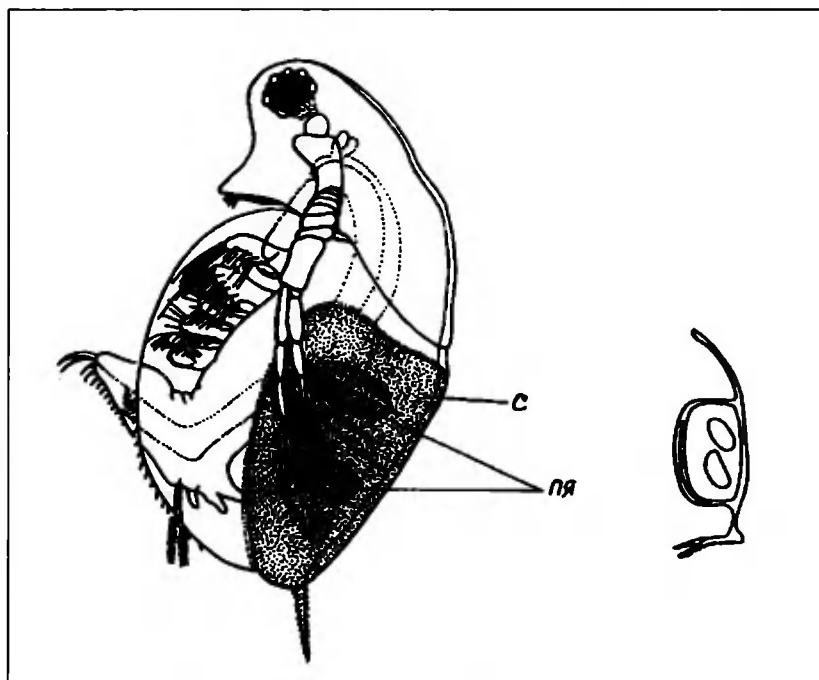
информацию. Когда-нибудь они «прорастут» и из них вылупятся новые дафнии.

Группа специалистов из научных учреждений Германии и США решила определить, может ли у дафний выработаться устойчивость к ядовитым водорослям, и если да, то как быстро¹. В 1997 г. они взяли в озере несколько грунтовых колонок, разделили на годовые слои и выделили из датированных слоев покоящиеся в грунте яйца дафнии *Daphnia galeata*. Затем их проростили и стали размножать партеногенетические клоны дафний на протяжении не менее 40 поколений, чтобы избавиться от ненаследственных влияний. Кормили дафний либо высококачественной одноклеточной водорослью *Scenedesmus obliquus* («хороший корм»), либо смесью *Microcystis* и *Scenedesmus* в отношении 1:4 по содержанию углерода («плохой корм») и определяли среднюю скорость весового прироста молодых дафний от рождения до половозрелости. Микроци-

стис брали из культуры, введенной в 1972 г. и содержащей высокую концентрацию гепатотоксина (микроцистин-LR). Разница в скорости роста дафний на «хорошем» и «плохом» корме, отнесенная к скорости роста на «хорошем» корме, и представляла собой меру унаследованной, генетически закрепленной, устойчивости рачков к токсичной «сине-зеленке».

Выяснилось, что в 1962–1964 и 1969–1971 гг. (до и в самом начале периода цветения) устойчивость дафний к микроцистису была слабой — скорость роста на «плохом» корме снижалась более чем на 30%. В 1978–1980 и 1992–1997 гг. это снижение составляло только 20%, т.е. у дафний выработалась значительная устойчивость к токсичной пище. При этом в 1992–1997 гг. (после прекращения цветения) устойчивость не изменилась по сравнению со временем разгара цветения (1978–1980), но индивидуальный разброс значений расширился. То ли устойчивость начала теряться, то ли произошло смешение дафний, вылупившихся из яиц, отложенных в разные годы —

¹Hairston N.G., Lampert W. et al. // Nature. 1999. V.401. №6752. P.446.



Оплодотворенная самка дафнии с «седлышком» (с) и двумя покоящимися яйцами (яя) на спине, справа — сброшенное «седлышко».

до, во время и после периода цветения.

Таким образом, резкое увеличение генотипически закрепленной устойчивости дафний к токсичной водоросли произошло всего за десяток лет, между 1969—1971 и 1978—1980 гг., — в эволюционном масштабе времени практически мгновенно! Столь быстрые эволюционные изменения могут существенно влиять на динамику экосистем и, в частности, быть важным механизмом обратной связи между первичными продуцентами (одноклеточными водорослями) и их потребителями (растительноядным зоопланктоном) в эвтрофируемых озерах.

О К.Н.Несис,

доктор биологических наук
Москва

Геофизика

В поисках предвестников землетрясения

Больше 10 лет назад сотрудники Университета штата Калифорния в Беркли (США) пробурили скважины глубиной 250 м вблизи пос.Паркфилд (район разлома Сан-Андреас) и установили на дне 10 высокоточных сейсмометров, способных регистрировать не воспринимаемые человеком весьма слабые толчки магнитудой 1 по шкале Рихтера.

За время наблюдений здесь отмечалось около 6 тыс. землетрясений различной интенсивности. Их проанализировали сейсмологи Т.В.Мак-Эвилли и Р.М.Надо (T.V.McEvelly, R.M.Nadeau) и обнаружили, что периодически, с интервалами от нескольких месяцев до нескольких лет, в этом районе происходят весьма характерные микротолчки. Измеряя промежутки между ними, исследователи смогли проследить за нарастанием напряжения в земной коре — непосредственно в месте события и с большей точностью.

Установлено, что с конца 80-х годов в Паркфилдском сегменте разлома Сан-Андреас пульсации (возрастания и уменьшения) стрессовых напряжений в земной

коре смещаются с северо-запада на юго-восток вдоль разлома. С перемещением пульсаций коррелировала серия из четырех землетрясений умеренной силы, произошедших между 1992 и 1994 гг.

Исследователи полагают, что такое же состояние недр должно было предшествовать и другим, более мощным сейсмическим событиям этого района. Начиная с 1881 г. Паркфилд пережил пять сильных землетрясений. В 1985 г. специалисты прогнозировали еще один толчок к 1992 г., но этого не случилось.

Сеть из 20 таких приборов калифорнийские сейсмологи установили также в скважинах на разломе Хейвард, идущем вдоль восточного берега залива Сан-Франциско. Это, в частности, позволит выяснить, локальны или повсеместно закономерны периодические микротолчки перед сильными землетрясениями.

Science News. 1999. V.156. №5. P.71 (США).

Вулканология

«Супруги» Лаки-Лаки и Перемпуан выясняют отношения

На о.Флорес, одном из крупнейших островов Малого Зондского архипелага (Индонезия), возвышается вулкан Левотоби (более 1700 м над ур.м.). Две его вершины — Лаки-Лаки (что на малайском языке означает «муж») и Перемпуан («жена») — отстоят друг от друга всего на 2 км, что предоставляет «супругам» возможность вечно выяснять свои вулканические отношения. Лаки-Лаки в течение XIX и XX вв. извергался многократно, осыпая «жену» плотным слоем пепла; Перемпуан в историческое время активизировался лишь дважды, но зато более интенсивно.

1 июля 1999 г. среди ночи со стороны Лаки-Лаки раздался мощный взрыв. Из кратера вырвалась раскаленная лава. По склонам горы в радиусе 2.5 км от вершины загорелись леса. Облако белой вулканической пыли подня-

лось на 1 тыс. м над вершиной, и вскоре ее миллиметровый слой покрыл поля и крыши окрестных деревень. Частые мелкие толчки сотрясали почву. Весь июль не утихал гнев «супруга».

Не менее грозные явления почти в то же время происходили в другой части страны — на востоке о.Явы. Вулкан Иджен выбросил раскаленную лаву со дна озера (поперечник ~1 км), которое давным-давно образовалось в одном из его древних кратеров. Вода со страшным гулом мгновенно испарилась, комья лавы и облака пара закрыли вершину, возвышающуюся на 2390 м над ур.м. Местное население, знающее по рассказам предков об аналогичных событиях 1817 г., которые привели к многочисленным жертвам, поспешно оставило свои дома; брошены были и богатые разработки вулканической серы на берегах испарившегося озера. К концу 1999 г. вулкан постепенно успокоился.

Smithsonian Institution Bulletin of the Global Volcanism Network. 1999. V.24. №7. P.3, 4 (США).

Вулканология

У вулкана Мацама «длинные руки»

На крайнем северо-западе США, в штате Орегон, рядом с оз. Крейтор, находится гора Мацама — давно погасший вулкан, не подающий признаков жизни уже несколько тысячелетий. Однако геологам известно, что когда-то он вел себя весьма активно. Объем выброшенной им во время последнего извержения лавы составил около 50 км³, а рассеянный и затем осевший пепел занял площадь 1.7 млн км² — более мощных вулканических отложений нигде в США и на юго-западе Канады не встречается за весь четвертичный период.

По-видимому, извержение относилось к плинианскому типу (впервые описанному Плинием Младшим, который наблюдал катастрофическую активность Везувия в 79 г.); оно отличается мощным взрывом, сильными подземными толчками, бурным камне- и пепло-

падом. Сегодня район, примыкающий к Мацаме, довольно плотно заселен, поэтому необходимо определить его потенциальную опасность и время, когда он активизировался в последний раз.

До сих пор считалось, что это было 6845 (± 50) лет назад. Однако К.М.Зданович и Г.А.Зелиньски (С.М.Zdanovicz, G.A.Zielinski) на основании данных о химическом составе льда из буровых скважин Гренландии (их глубина 3053 м, координаты 72.6° с.ш., 38.5° з.д.) пришли к выводу, что событие произошло 5677 (± 150) лет назад. В массе льда обнаружены многочисленные микроскопические обломки вулканического стекла, идентичные тем, что содержатся непосредственно рядом с Мацамой, а также отложения кислотных аэрозолей, пемзы, пепла и других вулканогенных материалов. Это означает, что вулкан обладает чрезвычайно большим «дальнодействием»: продукты его извержения в заметных количествах осели на расстояниях почти 4 тыс. км от источника. Отсутствие в слоях льда, отложившихся непосредственно перед событием, рыхлых вулканических материалов, а также всегда сопровождающих извержения характерных следов всплеска содержания SO_4 , говорит о том, что извержение началось резким взрывом, а его продукты были разнесены чрезвычайно быстро. По видимому, перенос осуществлялся главным образом тропосферными ветрами; отложение хлорных аэрозолей и SO_4 длилось около шести лет, а пепла — три года или даже менее. Часть вулканических аэрозолей могла распространиться и в стратосфере.

Пыльца древней растительности, включенная в образцы льда, показывает, что извержение произошло осенью, когда перемещение метеорологических полярных фронтов усиливает меридионально направленные потоки западных ветров. Характер распределения пепла тоже подтверждает предположение, что тогда в высоких слоях атмосферы преобладали ветры восточно-северо-восточного направления. Оптическое замутне-

ние атмосферы привело к понижению средних температур по всему Северному полушарию на 0.6—0.7°C. Это намного больше, чем при известном извержении вулкана Катмай на Аляске в 1912 г., и сравнимо с катастрофическим извержением в 1815 г. вулкана Тамбора.

Таким образом, извержение Мацамы можно считать одним из самых значительных в климатическом отношении событий Северного полушария за весь период голоцена (последние 10 тыс. лет). Geology. 1999. V.27. №7. P.621 (США).

Климатология

Климатические изменения в Австралии

Группа австралийских специалистов под руководством математика-климатолога К.Эннесси (K.Hennessy) провела статистический анализ метеорологических условий в Австралии за период с 1910 по 1995 г. (массив данных получен более чем по 300 пунктам континента).

Установлено, что за это время в штатах Новый Южный Уэльс, Южная Австралия, Виктория и в Северной территории общий объем осадков возрос на 15%. В остальных штатах перемен не произошло. На юго-западе Западной Австралии за счет уменьшения осадков в 1960—1972 гг. зимы стали суше. Количество суток с дождями по всей стране возросло в среднем на 10%, что означает весьма значительный прирост. В наибольшей степени это отмечалось в Новом Южном Уэльсе и Северной территории; обратное явление наблюдалось в островном штате Тасмания и на юго-западе Западной Австралии.

Участились (на 10 и даже 45%) ливневые осадки: в Новом Южном Уэльсе в осенние и летние сезоны — почти на 30%; в Западной Австралии и Северной территории усиление ливней приходится только на лето; зимой, наоборот, в Западной Австралии ливней стало меньше на 15%.

В 1973—1975 гг. в Тихом океане наблюдалось явление Ла-Ни-

нья, затем вплоть до 1995 г. отмечалось семь случаев Эль-Ниньо и лишь один — Ла-Нинья. Каждый приход Ла-Ниньи обычно сопровождается в Австралии увлажнением климата, а Эль-Ниньо — засухой. Однако с 1975 г. для всей страны в целом никаких серьезных изменений не отмечено; после 1990 г. в Западной, Южной Австралии и Северной территории вслед за некоторым снижением влажности восстановились обычные условия, а в штатах Квинсленд и Тасмания снижение продолжалось неуклонно; на юго-западе Западной Австралии уровень осадков сохраняется ниже, чем был до 1960 г.

Известно, что ряд математических моделей прогнозирует рост штормовой активности в связи с глобальным потеплением. Наблюдательные данные по Австралии за XX в. не противоречат такому прогнозу.

Atmosphere. Newsletter of CSIRO. 1999. №7. P.5 (Австралия).

Гидрология

Ниагарский водопад относительно молод

На конференции Международной ассоциации по изучению Великих озер (1999, Кливленд, США) был представлен доклад группы американских и канадских гидрологов и лимнологов. Основываясь на новых данных по батиметрии оз.Эри, они установили, где именно в древности проходила его береговая линия.

Оказалось, что 5—10 тыс. лет назад этот бассейн был значительно мельче, чем ныне. Климат тогда был более теплым и сухим и водной связи между Великими озерами Гурон, Мичиган, Верхнее и Эри не было. Скорее всего, Эри было закрытым бассейном, однако позже, вероятно в результате изменения климата и таяния ледников, его зеркало чрезвычайно быстро поднялось: перемычка между акваториями была прорвана, и в Эри хлынула вода верхних озер. Так возникла нынешняя река Сент-Клэр протяженностью 64 км,

которая впадает в оз.Гурон, а также Детройт, которая затем переносит воды в оз.Эри; из него избыточная вода сбрасывается в оз.Онтарио через 58-километровую Ниагару, образуя на этой реке знаменитый одноименный водопад с максимальной высотой падения 51 м.

Таким образом, это привлекающее тысячи туристов чудо природы очень молодо. В геологическом смысле, разумеется.

Earth System Monitor. 1999. V.10. №1. P.3 (США).

Археология. Генетика

Первоамериканец из Прибайкалья

Первичное заселение Америки шло, как ныне считается доказанным, через Берингов пролив — с Чукотки на Аляску, а далее вдоль побережья Тихого океана, через современную канадскую провинцию Британская Колумбия, Центрально-Американский перешеек и до Огненной Земли. Но где начинался этот путь длиной более 10 тыс. км? Откуда родом были предки аборигенов? Этот вопрос обсуждался на конференции по физической антропологии (июнь 1999 г., Колумбус, штат Огайо).

Американские специалисты из двух независимых научных групп пришли к единому выводу: прародина первоамериканцев — Южная Сибирь¹. И генетик М.Хаммер (M.Hammer), и специалист по молекулярной антропологии Т.Шурр (T.Shurr) различными методами обнаружили в Y-хромосоме характерные участки, оказавшиеся общими для коренных жителей Америки и для их предполагаемых предков, живших когда-то в районе оз.Байкал. Что касается женской линии, прослеживаемой по митохондриальной ДНК, то здесь картина сложнее.

Исследователи, руководимые Хаммером, изучили Y-хромосому у 2198 мужчин из популяций, населяющих разные регионы Азии

и Америки, в том числе — у представителей 19 американских аборигенных групп и 15 — североазиатских. Оказалось, что шесть маркеров этой хромосомы, встречающиеся ныне в Новом Свете, присутствуют и у жителей северо-западного и северо-восточного регионов Сибири, откуда и шло переселение в Америку. В согласии с этим находятся и выводы Шурра, который сопоставил результаты анализа Y-хромосомы более чем у 300 коренных сибиряков и 280 американских аборигенов. Истоки одной из мужских линий обнаруживаются где-то к западу от Байкала; есть среди них и такие, что ведут на восток — к берегам Амура, а потом распространяются как на запад, в Сибирь, так и на север, к Берингову проливу.

По мнению некоторых специалистов, переселение из Азии в Новый Свет произошло в ходе однократного эпизода. Однако результаты анализа ДНК говорят о многократности древних миграций.

Так или иначе, биологи дали археологам «подсказку», где искать прародителей первых американцев. И у археологов уже есть претендент на эту роль — племя, жившее около 20 тыс. лет назад в районе южносибирского пос.Мальта. Эти охотники на мамонтов использовали характерные для той эпохи каменные наконечники копий и двусторонне обработанные орудия труда (бифасы). Некоторые исследователи полагают, что эти предметы материальной культуры предшествовали орудиям, которые изготавливали древние американцы (культура кловис).

Science. 1999. V.284. №5417. P.1119 (США).

Археология

Финикийские суда найдены на больших глубинах

Р.Баллард (R.Ballard) — американский специалист, активно участвовавший в поисках и обследовании мест гибели суперлайнера

«Титаник» в Атлантике, авианосца «Йорктаун» в Тихом океане и других крупных судов, обнаружил в Средиземном море, у побережья Израиля, два торговых финикийских судна. Одно — длиной 15 м, другое — 20 м. Грузовые амфоры с вином, они, как установлено, вышли около 750 г. до н.э. из Тира (побережье современного Ливана) и направлялись в Египет или в финикийскую колонию Карфаген. Сильная буря, видимо, стала причиной их гибели.

Между 1200 и 300 гг. до н.э. финикийские города-государства занимали господствующее положение в средиземноморской торговле, основав множество торговых пунктов на побережьях Средиземноморья и Атлантики. Для обеспечения своих потребностей в олове финикийцы посещали Британские о-ва, а некоторые археологи склонны полагать, что финикийцы были первыми мореплавателями, обогнувшими Африканский континент.

Обнаруженные Баллардом корабли лежат на 500-метровой глубине, а другой исследователь, Г.Стэм (G.Stemm), нашел на глубине 1000 м при входе в Гибралтарский пролив судно, которое датировано не позднее V в. до н.э. и тоже принадлежало финикийцам.

Находки Балларда и Стэма можно считать первыми древними судами, обнаруженными на столь значительных глубинах современными средствами поиска — роботами, ультрасовременными сонарами и даже переоснащенными атомными подводными лодками. Несомненно, весь этот дорогостоящий арсенал позволит сделать еще немало интересных открытий.

National Geographic. 1999. V.195. №4. P.80 (США); Sciences et avenir. 1999. №630. P.15 (Франция).■

¹ См. также: Прародина первых американцев // Природа. 1999. №3. С.122—123.

История отечественной астрономии: от мира Перуна до Вселенной Линде

Ф.А.Цицин,

кандидат физико-математических наук

Государственный астрономический институт им.П.К.Штернберга
Москва

Передо мною том, изданный под редакцией академика Виктора Викторовича Соболева (1915—1999). Увы, его подписали в печать уже после ухода ученого из жизни. Книга посвящена его светлой памяти...

Замысел авторов вполне ясен: «Не было ни одной работы, в которой сколько-нибудь полно излагалась бы история астрономии в нашей стране. Настоящая книга и предназначена для восполнения этого пробела» (с.5). Существенное ограничение внесли временные рамки: «Особое внимание... уделяется второй половине XX в.» (с.4). Но и этот период заканчивается в книге где-то в середине 80-х годов, по существу дела «затягивать» его до 2000 г. не имело смысла. Естественным завершением прежнего этапа «отечественной астрономии» было бы самое начало 90-х, когда СССР распался и даже само понятие «отечество» оказалось далеко не однозначным.

Настораживает установка авторов на «облегченный» стиль подачи всего периода — с древнейших времен до второй половины XX в. К счастью, в 90-е годы появились еще два историко-астрономических

труда, почти идеально дополняющие рецензируемую книгу. Получилась интересная трилогия. Рецензируя последнюю книгу этого неожиданного «трехтомника», нельзя не сказать и о двух предшествующих.

Первая¹ из них должна была открывать серию из семи-восьми томов, которая вследствие ряда обстоятельств свелась к одной книге! «Очерки...» стали своеобразным памятником истории отечественной астрономии — дореволюционной и советской. При тираже 700 экз. издание все же смогло обеспечить живо интересующихся историей своей науки астрономов, некоторых смежников и основные библиотеки бывшего Союза.

А серия замышлялась очень основательно. Была создана авторитетная редколлегия из 15 человек, куда входили В.А.Амбарцумян, Е.К.Харадзе, Я.С.Яцкив и др. При издании «Истории астрономии в России и СССР» не осталось и следов от этого мощного редакторского коллектива, что, увы, привело к ряду серьезных недостатков.

Как ни странно, в рецензируемой книге среди более чем



История астрономии в России и СССР /

Под ред. В.В.Соболева. М.: Янус-К, 1999. 592 с.

¹ Очерки истории отечественной астрономии: с древнейших времен до начала XX в. / Отв. ред. И.А.Климишин. Киев, 1992.

360 ссылок нет ни одной на указанного предшественника. Статьи для «Истории...» готовились, так сказать, сепаратно. Действительно, из 53 авторов «Очерков...» и 14 «Истории...» лишь одна фамилия фигурирует дважды. Книги вполне независимы, что хорошо! Отчасти это связано с тем, что содержание «Очерков...» ограничено 1917-м годом, между тем как в «Истории...» особое внимание уделяется второй половине XX в. Так осуществилось разделение времен. Внимание было ослаблено лишь к периоду с 1918 г. до середины 20-го столетия.

Тем более удачно то, исходно случайное, обстоятельство, что между «Очерками...» (1992) и «Историей...» (1999) вышла в свет еще одна независимая фундаментальная публикация по истории в основном отечественной астрономии². В ней освещен период 30 — конца 50-х годов, фактически же — 1917—1957 гг. Книга издана по материалам научно-мемориальной конференции, посвященной 50-летию Победы и окончания второй мировой войны и состоявшейся в апреле 1995 г. в Пулковской обсерватории.

По объему она сопоставима с двумя вышеназванными и включает еще более многочисленный коллектив авторов (94 человека). Уже по своему происхождению она весьма отличается от предыдущих. Кратко охарактеризую и эту центральную часть «трехтомника».

За вводной статьей редактора-составителя следуют семь глав, которые в хронологической последовательности освещают период XX в. от предвоенных десятилетий, сквозь войну, послевоенные годы и до начала космической эры (1957).

Возвращаясь, однако, к исходной теме — книге «История астрономии в России и СССР». Открывает книгу общий обзор (В.В.Соболев). Остальные главы — тематические: астрометрия (А.П.Гуляев, М.С.Зверев), небесная механика (К.В.Холшевников), физика Солнечной системы (А.А.Гурштейн, И.Н.Минин), физика Солнца (Г.Б.Гельфрейх, Э.В.Кононович), физика звезд (В.Г.Горбацкий), галактическая астрономия (Н.В.Вошинников, Л.П.Осипков), внегалактическая астрономия (В.А.Гаген-Торн, А.Д.Чернин), астрономия в университетах (А.П.Гуляев, А.К.Колесов), научные учреждения (В.А.Гаген-Торн, А.К.Колесов). В завершение — именной указатель (988 фамилий).

В композиции книги виден некий перекос: две последние, «учрежденческие» главы занимают более трети объема. К сожалению, худшее впечатление производит первая глава. Видимо, сам замысел — кратко изложить всю мировую (!) историю астрономии как систему отсчета для материала последующих глав — практически нереализуем. Сказалось отсутствие компетентной (и вообще какой бы то ни было!) редколлегии.

Именно первая глава представляется наименее удачной и по части редактирования. Отсюда и разительные неточности. Например: «Таблицы Улугбека через 100 лет были изданы на английском языке в Кембридже» (с.18). В действительности, через 200, на персидском и латыни, причем в Оксфорде... Или: «В 1930 г. была открыта последняя, десятая (?) планета Солнечной системы, названная Плутон, примерно тем же методом, что и Нептун (?)» (с.25).

Но уже содержание второй главы захватывает, ее прочитываешь с интересом неослабевающим, осознавая значение

фундаментальной астрометрии, «основная задача которой состоит в обеспечении всех астрономических и астро-геодезических измерений точной системой координат» (с.44).

Здесь и в последующих статьях (в строгом единстве подхода чувствуется влияние и установка редактора), весьма объективно представлен мировой уровень исследований, с которым и соотносятся наши результаты. Общий тон практически всех статей в книге задает объективность и самокритичность, хотя иногда признание наших ошибок и отставаний сопровождается понятной досадой на самих себя...

Проблема хорошей астрономической системы координат проходит через всю астрометрию, ее этапы весьма доходчиво (для неспециалистов) даны во второй главе. «Теперь ясно, что в астрономии [нужна] единая фундаментальная система координат, пригодная для исследования любых объектов Вселенной — от самых ярких, близких к нам членов Солнечной системы до отдаленных галактик и квазаров» (с.58).

В связи с упомянутым во второй главе эллипсоидом Красовского, можно отметить, что именные термины лучше всего представляют уровень науки страны. Мы встретим далее и Вселенную Фридмана, и кинематику Огородникова — Милна, и эффект Зельдовича — Сюняева, и ряд других весьма значимых терминов, иногда неявных (реликтовое излучение — И.С.Шкловский, талассоид — Ю.П.Псковский и т.д.).

Для большинства статей рецензируемой книги характерна открытость горизонтов: объективное признание нерешенных проблем и актуальных задач...

Вторая глава заканчивается на оптимистической ноте, в предвидении будущего аст-

² Астрономия на крутых поворотах XX века / Ред.-сост. А.И.Еремеева. Дубна, 1997.

рометрии — особенно радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой (РСДБ). Она позволяет, например, определять положение квазаров с точностью $2 \cdot 10^{-3}$ угловых секунд, что на два порядка выше лучших оптических измерений. Но наука не остановилась на этом. Недавно в Институте астрономии (ИНАСАН) мне показали проект оптического интерферометра в космосе с разрешением 10^{-4} угловых секунд! Единственная историческая неточность в главе: Астрономический совет в 1937 г. был не организован, а, напротив, фактически разогнан (восстановлен в 1939 г., но уже без прежнего руководителя — В.Г.Фесенкова)...

Работая над рецензией, я понял, что главная трудность при ее написании — невозможность поделить с читателем хотя бы десятой долей той интереснейшей информации, какую получаешь при чтении этой книги.

Открытиям Леонарда Эйлера в значительной мере посвящена третья глава. Даже мелкие (по масштабам Эйлера) результаты впечатляют. Например — метод решения «задачи двух неподвижных центров», развитие которого в наше время (Е.П.Аксенов, Е.А.Гребеников, В.Г.Демин) в 1000 раз (!) повысило точность теории движения искусственных спутников Земли!

Автор главы с грустью отмечает: «Время безжалостно стирает память о талантах, оставляя в ней лишь гениев». А ведь такой талант, как, например, Ж.-Н.Делиль, стоявший у истоков европейской астрономии в России, еще должен был убеждать молодого Эйлера в правильности ньютоновой теории тяготения (с.88)! Другой замечательный талант, слава которого померкла в лучах солнца Эйлера, — его любимый ученик А.И.Лексель, ставший «глазами и руками» ослепшего гения.

Он показал, в частности, что открытая В.Гершелем странная комета — на самом деле планета-гигант, позже названная Ураном. Это было первое на памяти человечества открытие планеты! И первым это доказал Лексель.

Автор привлекает внимание к космогоническому аспекту небесной механики. Так, именно фундаментальный результат (доказательство возможности захвата в задаче трех тел) спас от «удушения в колыбели» космогоническую теорию О.Ю.Шмидта.

Результаты Е.И.Казимирчак-Полонской из области небесной механики подводят к решению «трилеммы» в проблеме происхождения комет. Приходят ли они из Галактики? Выбрасываются при взрывах с планет-гигантов и их спутников? Сохранились с эпохи рождения Солнечной системы? Похоже, впрочем, что автор третьей главы недооценивает аргументы, говорящие о полной несостоятельности двух первых вариантов.

Четвертая глава — наименьшая по объему. В ней фрагментарно перечисляются результаты, полученные в докосмическую и космическую эры. Следует и здесь отметить некоторые неточности: утверждение, что Н.Ф.Рейн «количественно опровергла [космогонические] представления Дж.Джинса», одностороннюю характеристику важного труда А.В.Хабакова (1949) по геологии Луны. Весьма загадочно выглядит результат: «[На Венере в 1975 г. были] обнаружены горы высотой 1—3 км с крутизной склонов 6—7° и протяженностью 1—3 км» (с.160).

Вызывает сомнение сугубо положительная оценка результатов полета к комете Галлея автоматических межпланетных станций «Вега-1 и -2» (1986). Хотя вся аппаратура сработала тогда прекрасно (программа В.И.Мороза и др.), решающего вклада в проблему

физики и генезиса комет внесено не было. Иного и трудно было ожидать из-за ошибочности самого (более эффективного, чем эффективного) замысла: комету исследовали на относительной скорости порядка 80 км/с!.. Не твеновский ли это «прибор для счета звезд на полном велосипедном ходу»?

В пятой главе есть мелкие неясности — например, Берингов пролив как Северный морской путь (с.190), — которые, однако, не портят хорошего общего впечатления.

Жаль, что в связи с идеей пульсации цефеид не упомянут в шестой главе Н.А.Умов, а среди авторов первого советского звездного электрофотометра не назван П.Г.Куликовский. Полностью отсутствует период 1940—1945 гг. Несколько удивляет крайне субъективное изложение автором концепции звездных ассоциаций Амбарцумяна. Наибольший интерес вызывает проблема дисковой аккреции и загадка гамма-всплесков.

Очень содержательна седьмая глава. Здесь изложен совершенно новый взгляд на И.Г.Медлера, меняющий представления о нем как эпигоны Канта, Ламберта и Гершеля! С неизвестной ранее стороны представлен и В.В.Стратонов, которого в 1922 г. выслали из страны в числе лидеров российской интеллигенции.

В 20-е годы, в эпоху «галактической революции», нашу астрономию представляли такие фигуры, как Г.А.Шайн, Б.П.Герасимович, В.Г.Фесенков. Но мировой авторитет завоевывало уже следующее поколение астрономов: К.Ф.Огородников, Б.А.Воронцов-Вельяминов, П.П.Паренаго и др. В предвоенные годы возшла звезда В.А.Амбарцумяна. Он стал известен своими фундаментальными работами по звездной динамике (обоснование идеологически сомнительной тогда короткой временной шкалы возраста Все-

ленной), теоретической астрофизике, статистико-динамической эволюции звездных систем и др.

Революция в звездной космогонии началась в конце 40-х годов 20-го столетия именно с концепции звездных ассоциаций Амбарцумяна. Конечно, многое позже отпало. Но осталось главное: звезды рождаются и в нашу эпоху, и именно группами. А один из активнейших оппонентов Амбарцумяна 60–70-х годов Ю.Н.Ефремов с конца 70-х разрабатывает более общую концепцию «звездных комплексов», где звездные ассоциации — лишь их фрагменты.

Новое направление динамики звездных систем развил В.А.Антонов (термодинамика и теория устойчивости звездной системы). Его работы получили заслуженное признание специалистов во всем мире. А ведь он закончил университет по специальности... ботаника!

Как и большинство предыдущих глав, последняя из тематических, восьмая, написана специалистами, внесшими в свой предмет такой вклад, что могут позволить себе весьма спорные мнения. Но они явно «перегнули» в самой трактовке рассматриваемой ими области науки: «Космология — наука о всей наблюдаемой Вселенной <...> берет начало в трудах <...> А.А.Фридмана <...> 1922—1924 гг.» (с.342). Конечно, Фридман — великий человек, но стоит ли обижать других мыслителей (от Древности!), которые занимались той же наукой? Для снятия конфликта достаточно перед формулировкой авторов поставить всего одно слово: «Реляти-

вистская». Кстати, нечто подобное есть в книге: «Фридман создал новое учение о Вселенной, которое стало подлинной научной космологией XX века...» (с.345). Заметим, что и после Фридмана, теорию которого решительно «офизичил» его ученик Г.А.Гамов, космология не остановилась. Одним из первых следующий шаг сделал выдающийся космолог 20-го столетия А.Л.Зельманов. Вселенная Зельманова вновь рисовалась бесконечной, как у Бруно, Ньютона или Больцмана, но уже состоящей из огромного числа разнообразных вселенных. Ныне сходная картина реализуется в концепции А.Д.Линде (хаотически раздувающейся, вечно молодой и бесконечно разнообразной Вселенной).

Важной (с 30-х годов, от М.П.Бронштейна) проблемой физики XX в. стало построение теории квантовой гравитации — для понимания космологической эволюции, для объяснения пресловутых «черных дыр». Много раз казалось, что остались мелочи, доделки... Но все попытки решить эту задачу оказывались, говоря словами Н.Бора, «недостаточно сумасшедшими, чтобы быть правильными».

В понимании физики Метагалактики проблем не меньше, чем в объяснении ее структур. Чего стоит хотя бы активность ядер галактик, заявленная в конце 50-х Амбарцумяном и поразительно быстро воплотившаяся в открытии квазаров и их многочисленной родни — лацертид и радиогалактик, сейфертовских и маркаряновских, компактных и активных и т.д. Как утверждал Я.Оорт, открытие активности галактик, наряду с рождением звезд в совре-

менную эпоху (вспомним В.Гершеля!), стало крупнейшим достижением советской астрономии.

Быть может, это самая интересная глава книги — в ней затронут фундамент Вселенной, здесь больше всего нерешенных проблем и перспективных идей, сенсационных открытий и ошеломляющих результатов. Чего стоят, например, совсем свежие результаты (1999) по гамма-всплескам, которые оказались невообразимыми по масштабам, до сих пор непонятной природы, взрывами в Метагалактике, каждый из коих — ярче, чем все квазары вместе взятые! А ведь квазар светит ярче доброй сотни галактик!

И как хорошо было бы закончить рецензию на этой мажорной ноте... Но не могу не отметить один (зато — двойной) досаднейший «ляп». Два блестящих результата Ю.Н.Ефремова (из трех в книге) «отданы» в восьмой главе его тезке Ю.И.Ефремову, тоже работавшему когда-то в ГАИШе... Кстати, Ю.И.Ефремов и сам вполне достоин упоминания в книге, чего, увы, нет. Ну, а Ю.Н.Ефремов оказался «ограблен» — как если бы два из трех законов Кеплера истории «передали бы», скажем, Тихо Браге...

...И все же пусть последние слова будут не об этом. Книга в общем очень интересна, полезна и актуальна. Ее действительно не хватало в нашей историко-астрономической библиотеке. Тот, кто прочтет ее, получит и пользу (новую информацию), и удовольствие (массу оригинальных суждений и мыслей). Ну, а недостатков не бывает только в книгах, которые еще не написаны! ■

ФИТОТЕРАПИЯ С ОСНОВАМИ КЛИНИЧЕСКОЙ ФАРМАКОЛОГИИ: СПРАВОЧНИК / Под ред. В.Г.Кукеса. М.: Медицина, 1999. 192 с.

Медицина есть искусство подражать целебному воздействию природы.

Гиппократ

В последнее время во многих странах усилился интерес к лекарственным, приготовленным на основе природных компонентов. Это обусловлено тем, что химический состав их близок к метаболитам человеческого организма. Кроме того, эти лекарственные средства относительно безопасны для больного.

В справочнике отражены общие принципы фитотерапии и клинической фармакологии, описаны биологически активные вещества растений. Дана характеристика 92 видов растений, сырье которых входит в состав лекарственных сборов, но только тех, что широко представлены во флоре Центральной России и относительно доступны в аптечной сети.

Рассказывается об особенностях воздействия препаратов природного происхождения, используемых при заболеваниях нервной системы, кожных и гинекологических. Для их фитотерапии предложено 308 сборов.

Охрана природы

ЗАПОВЕДНИКИ СИБИРИ. Т.1 / Под общ. ред. Д.С.Павлова, В.Е.Соколова, Е.Е.Сыроечковского. М.: ЛОГАТА, 1999. 304 с. (Заповедники СССР)

В России существует крупнейшая в мире система государственных заповедников, создававшаяся на протяжении почти всего последнего столетия. В отличие от популярных за рубежом национальных парков российские заповедники — это участки природы, сохраняемые

в естественном, неизменном виде. В них запрещена любая хозяйственная деятельность и постоянно ведутся научные исследования.

Сегодня в России насчитывается 99 государственных заповедников, общая площадь которых составляет 33.2 млн га, что приближается уже к 2% всей территории страны. Почти все крупнейшие заповедники расположены в Сибири.

Книга продолжает известную серию «Заповедники СССР», вышедшую в 1985—1996 гг. в Москве в издательстве «Мысль». В ней собраны очерки об охране природы и заповедном деле в Сибири. Даются детальные описания 13 заповедников (Малая Сосьва, Юганский, Таймырский, Путоранский, Столбы, Саяно-Шушенский, Азас в Туве, Усть-Ленский, Олекминский, Баргузинский, Витимский, Сохондинский, Даурский), обширный справочный материал и множество цветных фотографий. Выпуск второго тома намечается в 2000 г.

Описание многих сравнительно недавно созданных сибирских заповедников приводится здесь впервые. Авторы очерков — ведущие специалисты заповедного дела России.

История науки

Н.Н.ГОВОРУН: КНИГА ВОСПОМИНАНИЙ / Под ред. В.П.Ширкова, Е.М.Молчанова; Сост. А.Г.Заикина, Т.А.Стриж. Дубна: ОИЯИ, 1999. 113 с.

Мировая известность Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) в Дубне, несомненно, связана с именами тех ученых, которые заложили главные направления исследований.

В 1966 г. в ОИЯИ была создана лаборатория, в задачу которой входило обеспечение научных исследований современными средствами автоматизации и вычислительной техники. За-

местителем директора лаборатории назначили молодого ученого Николая Николаевича Говоруна (1930—1989). Будущий член-корреспондент Академии наук СССР, физик по образованию, он сумел проявить себя как талантливый конструктор и математик. Фактически развитие информатики в институте шло под руководством Николая Николаевича.

Говорун преодолел весь путь от реализации математических вычислений на первых ЭВМ до создания компьютерных сетей для информационного обеспечения научных исследований. В круге его интересов были вопросы системного математического обеспечения, задачи обработки экспериментальных данных в режимах офф- и онлайн и управления экспериментом в реальном масштабе времени.

В книге собраны очерки о жизни и научной деятельности Николая Николаевича, дан библиографический список его трудов.

МИХАИЛ ТИХОНОВИЧ НУЖИН: ВОСПОМИНАНИЯ СОВРЕМЕННИКОВ / Отв. ред. Ю.Г.Коноплев. Казань: Унипресс, 1999. 208 с.

Сборник посвящен памяти выдающегося математика-механика, одного из создателей теории обратных краевых задач Михаила Тихоновича Нужина (1914—1983), ученого и педагога Казанского государственного университета. На годы его ректорства (1954—1979) пришелся период бурного развития этого учебного заведения, ставшего всемирно известным.

В книге собраны воспоминания тех, кто близко знал Нужина — друзей, учеников, коллег. Выход издания приурочен к 85-летию со дня рождения ученого. Авторы надеются, что книга поможет сохранить память о нем.

Александр Михайлович Сибиряков

Б.А.Соловьева,
кандидат искусствоведения
Санкт-Петербург

В декабре 1878 г., когда экспедиция А.Э.Норденшельда, одним из организаторов которой был А.М.Сибиряков, пройдя почти весь Северный морской путь, зимовала у берегов Чукотки, «Нива» писала: «В наше время почти исключительного стремления к удовлетворению узких, эгоистических интересов редки отрадны́е примеры бескорыстного служения общему делу. Грандиозная цель соединения богатой Сибири с остальным миром, можно сказать, осуществлена. Сибиряков, оказавший свое щедрое и энергическое содействие успеху великого дела, имеет все права на признательность своих соотечественников. Его имя — достояние потомства»¹.

В октябре 1999 г., почти никак не отмеченное, прошло 150-летие со дня рождения А.М.Сибирякова (1849—1933). Нельзя сказать, что нашим соотечественникам неизвестно это имя, но для многих оно связано не с человеком, а с ледокольным пароходом «Александр Сибиряков». О самом Александре Михайловиче можно найти определенные сведения — в энциклопедиях



А.М.Сибиряков. Не позднее 1878 г.

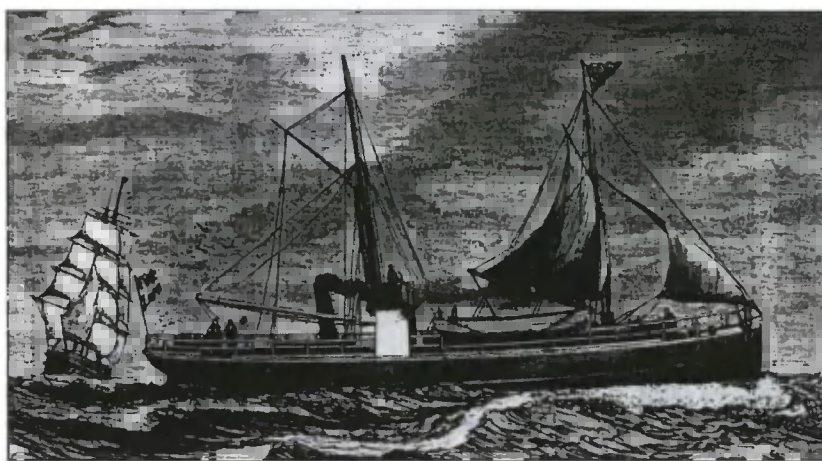
¹ А.М.Сибиряков и его пароход «Лена» // Нива. 1878. №51. С.947.

и словарях, в небольших статьях, появившихся в 90-е годы². Однако ни одной серьезной, обстоятельной работы о Сибирякове нет.

А.М.Сибиряков принадлежал к седьмому поколению одного из самых древних, богатых и влиятельных родов Сибири, который вел свое происхождение от крестьянина Устюжской провинции Архангелогородской губернии Афанасия (ок. 1676—1754). Отец Сибирякова был купцом 1-й гильдии, совладельцем винокуренных заводов, богатых золотых приисков, Бодайбинской железной дороги, пароходства. Под конец жизни его состояние оценивалось в 4 млн руб.

Александр Михайлович Сибиряков родился 26 сентября 1849 г. в Иркутске. В то время купцы уже стали давать серьезное образование своим детям. Сибиряков закончил гимназию, затем Политехникум в Цюрихе. После смерти отца (1874) получил свою долю участия в «Прибрежно-Витимской золотопромышленной компании», в «Компании промышленности в различных местах Восточной Сибири» и в «Компании Ленско-Витимского пароходства». Кроме того, он приобрел Александроневский стекольный завод и писчебумажную фабрику. Помимо уже существовавших предприятий Сибиряков создал новые: буксирное пароходство на Ангаре (1885) и Амурское общество пароходства и торговли (1894).

Но предпринимательская деятельность не была для Си-



Пароход «Лена». Плавал 80 навигаций. В начале 1960-х годов историческое судно пошло на металл.

бирякова единственной целью — как почти для всех купцов и промышленников. Им владела идея развития Сибири путем «улучшения сообщений, устройства в ней дорог и каналов, морских сношений ее с соседними странами...»³.

Первые шаги Сибиряков предпринял сразу же, как только получил наследство. Он начал с содействия освоению Северного морского пути, продолжив дело М.К.Сидорова, благодаря трудам и средствам которого в 1874 г. шотландский капитан У.Уиггинс совершил первое плавание из Европы в устье Обской губы. В 1875 г. на средства Сибирякова Уиггинс вновь отправился в плавание, но поздно вышел в море и доплыл лишь до о.Колгуев. Успешным было следующее его плавание в 1876 г., финансируемое Сибиряковым и английским предпринимателем Гардинером: корабль, отплывший из Англии, прошел к устью Енисея и поднялся по нему вверх до впадения р.Курейки.

Но самым значительным было участие Сибирякова

в организации знаменитой экспедиции А.Э.Норденшельда по Северо-Восточному проходу и вокруг Евразии в 1878—1880 гг. Еще в 1875 г. шведский мореплаватель получил от Сибирякова 25 тыс. руб. для дальнейших исследований в северных морях. По этому случаю Норденшельд писал: «Меня очень радует, что благодаря громадному пожертвованию Сибирякова я вижу свое путешествие в Берингов пролив обеспеченным в экономическом отношении»⁴. В 1876 г. он совершил плавание к Енисею, открыл остров в устье этой реки и назвал его «островом Сибирякова по имени горячего и великодушного организатора различных сибирских экспедиций этого года»⁵.

В июле 1878 г. началось сквозное плавание по Северо-Восточному проходу. При подготовке экспедиции большое значение имели сведения о Сибири и состоянии льдов в прилегающих к ней

² См.: Студитский Ф. История открытия морского пути из Европы в сибирские реки и до Берингова пролива. Ч.1. СПб, 1883. С.218—219.

³ Норденшельд А.Э. Экспедиции к устью Енисея 1875 и 1876 годов. СПб, 1880. С. 130.

⁴ Алексеева Г. Письмо из Ниццы // Вокруг света. 1990. №12. С.42—43; Шипко Л. Радетель Сибири // Уральский следопыт. 1992. №2. С.77—78; Гаврилова Н. Александр Сибиряков // Земля Иркутская. 1996. №5. С.44—45; Валлениус С. Загадка Сибирякова // Поиск. 1999. №1—2. 15 января. С.11; Цыганко В. Славный сын России: К 150-летию со дня рождения А.М.Сибирякова // Вестн. Ин-та геол. Коми Науч. центра УрО РАН. 1999. №10. С.28—29.



Сувенирная тарелка, изготовленная по случаю визита Норденшельда в Санкт-Петербург 28 декабря 1880 г. Изображены: А.Э.Норденшельд (вверху), А.М.Сибиряков (слева), О.Диксон (справа) и А.Паландер (внизу).

морях, присланные Сибиряковым. Финансировали экспедицию А.М.Сибиряков, гетеборгский предприниматель О.Диксон и, как частное лицо, король Швеции и Норвегии Оскар II, причем на долю Сибирякова пришлось в целом около 40% всех расходов.

Кроме основного судна «Вега» в состав экспедиции входил пароход «Лена», специально построенный в Швеции на средства Сибирякова и следовавший до устья Лены, и зафрахтованные им корабли «Фразер» и «Экспресс», которые должны были доставить на Енисей европейские товары, а обратно в Европу — груз сибирского хлеба.

«Веге» пришлось зазимовать в Колычинской губе, не дойдя всего 100 миль до Берингова пролива; зимовка продолжалась десять месяцев. Все это время в мире росло беспокойство за судьбу экспедиции Норденшельда, обсуждались планы помощи, рассылались телеграммы. Но реальные действия предпринял только Сибиряков. Находясь

в Цюрихе, он поручил своему доверенному в Иркутске И.П.Гундерину найти место зимовки экспедиции и оказать помощь. Когда это не удалось, Сибиряков срочно построил в Швеции пароход «Норденшельд» и отправил его южным путем вокруг Евразии к берегам Чукотки. Пароход потерпел крушение около Японии, но был спасен; экипаж не пострадал. «Вега» же, как оказалось, не нуждалась в помощи; 20 июля 1879 г. она прошла Беринговым проливом, а 24 апреля 1880 г. вернулась в Стокгольм.

Швеция оценила заслуги всех организаторов и участников экспедиции. Сибиряков был награжден орденом Полярной звезды, избран почетным членом Шведского общества антропологии и географии, членом-корреспондентом Общества военных моряков, членом научного и литературного обществ г.Гётеборга. Россия также оценила тех, кто обеспечил успех экспедиции: Норденшельда, короля Оскара II, Диксона, капитана

«Веги» А.Паландера и даже чукчу Менка (за доставку почты с «Веги»). Удивительно, что лишь Сибиряков никак не был отмечен на родине.

С 1875 г. и до конца жизни Норденшельд переписывался с Сибиряковым. В архиве шведского ученого в Стокгольме среди писем многочисленных русских корреспондентов более всего — от Александра Михайловича (свыше 150 писем из 700)*.

В последующие годы попытки самого Сибирякова на пароходе «Оскар Диксон» (1880) и снаряженных им экспедиций на корабле «Норденшельд» (1882—1885) пройти через Карское море к Енисею оказались неудачны. Это привело его к решению «остановиться на Печоре» и через нее установить связь Сибири с Европой. Проекты такого соединения возникали уже не раз с начала XIX в. Сибиряков связал Печору с Обью дорогой,

* Пасецкий В.М. Русские письма в архиве А.Э.Норденшельда // Земля и Вселенная. 1995. №3. С.45—47.

проложенной по Щугорскому волоку — от с.Ляпин на р.Сыгве, притоке Северной Сосьвы, впадающей в Обь, до с.Усть-Щугор на Печоре. Она стала известна как Сибиряковский тракт на север.

В 1884 г. по тракту было перевезено 20 тыс. пудов грузов, в 1888-м — 210 тыс. пудов; тракт успешно действовал до 1898 г. Сибирские грузы вывозились в Печорский край, Мезенский уезд, на Мурманский берег, в Северную Норвегию, Данию. Для Печорского края эта дорога стала спасением: голод был обычным явлением на Печоре. Мука здесь стоила 2 руб. 50 коп. за пуд, а когда Сибиряков начал доставлять туда хлеб, цены снизились вдвое, а в 1887 г. — втрое. Жители называли Сибирякова «благодетелем всего Печорского края»⁷.

Соединение Оби с Печорой было только частью обширного плана Александра Михайловича по связи всех основных районов Сибири как между собой, так и с европейской Россией и другими странами. Этот план сложился в результате предпринятых им нескольких экспедиций 80—90-х годов в различные районы Сибири и Дальнего Востока.

Еще одной частью плана была работа по улучшению условий судоходства на Ангаре. Сибиряков получил привилегию для организации буксирного парохозяйства в порожиистой части Ангары сроком на пять лет, и в 1888 г. на реке начали взрывать пороги и прокладывать по дну цепь для туэрных (цепных) судов. Однако преодолеть самый порожиистый участок Ангары не удалось, и Сибиряков ликвидировал предприятие, истратив более миллиона рублей.

Проблемы путей сообщения в Сибири и связи ее с дру-

гими странами волновали Александра Михайловича многие годы. Он посвятил им около 30 статей, опубликованных в 1881—1914 гг. главным образом в томской газете «Сибирская жизнь». Шестнадцать статей он объединил в книгу «О путях сообщения Сибири и морских сношениях ее с другими странами», включив в нее вместо предисловия размышления «Об автономии Сибири». Ряд его статей был опубликован в двух немецких журналах — «*Petermanns Geographische Mittheilung*» и «*Deutsche Geographische Blätter*». В 1910 г. в Цюрихе вышла его книга «К вопросу о внешних сношениях Сибири с Европой» (на немецком языке).

В 1876 г. Общество германской северополярной экспедиции в Бремене постановило направить в район Оби естествоиспытателей О.Финша и А.Брема, но смогло ассигновать лишь небольшую часть необходимой суммы. «И тут совершенно неожиданно... Общество получило богатейший подарок в 20300 марок. Великодушным жертвователем оказался А.М.Сибиряков из Иркутска, приносящий такие крупные, щедрые жертвы не только на благо своей родины, но и в интересах чисто науки вообще, и притом настолько бескорыстно, что как Отечество его, так и ученые Общества могут с гордостью считать его своим почетным гражданином и членом»⁸.

Второй была экспедиция члена Французского географического общества Ш.Рубо в 1890 г. Он путешествовал от Казани через Урал по Сибиряковскому тракту, затем по Оби и собрал большую этнографическую коллекцию. За помощь экспедиции французское правительство отметило Сибирякова «Пальмовой ветвью».

Благотворительная деятельность Александра Михайловича была направлена главным образом на развитие просвещения и культуры Сибири. Самое известное его пожертвование — 100 тыс. руб. в 1878 г. первому сибирскому университету в Томске, за что Сибиряков был награжден орденом Св.Владимира 3-й степени. В 1880 г. Сибиряков приобрел и подарил университету библиотеку В.А.Жуковского, включающую четыре с половиной тысячи томов с многочисленными маргиналиями, подстрочными переводами, дневниковыми записями. В 1882 г. он передал для ботанического и зоологического музеев университета коллекции, собранные в полярных районах Сибири и Америки экспедицией Норденшельда.

В 1904 г. А.М.Сибирякова вместе с Д.И.Менделеевым избрали в почетные члены Томского университета. До них этого звания были удостоены лишь император Николай II (1891) и министр просвещения граф И.Д.Делянов (1892).

В 1883 г. Сибиряков выделил Академии наук капитал в 10 тыс. руб., на проценты с которого один раз в три года должна была присуждаться премия за лучшее историческое сочинение о Сибири.

Много доброго и полезного сделал Александр Михайлович и для своего родного Иркутска. Он пожертвовал 800 тыс. руб. на создание и содержание четырех начальных училищ им. А.М.Кладищевой (своей сестры, умершей в возрасте 22 лет), 50 тыс. руб. — на учреждение Высшего технического училища, 12 тыс. руб. — на устройство типографии газеты «Сибирь». Иркутской гимназии он подарил скульптуру М.М.Антокольского и три пейзажа И.К.Айвазовского, публичной библиотеке — много ценных изданий на русском и иностранных языках (в том числе «Полное

⁷ Кунгин В. В Печорском краю // Изв. Архангельского об-ва изуч. Русского Севера. 1913. №2. С.73.

⁸ Путешествие в Западную Сибирь О.Финша и А.Брема. М., 1882. С.2.

собрание летописей» и «Известия Географического общества» за несколько лет). Он передал городу две пожарные машины, заново отстроил разрушенное пожаром здание приюта для бедных, созданного его отцом, участвовал в сборе средств для строительства нового театра, взамен сгоревшего.

Сибиряков много помогал учащейся молодежи: был почетным членом Общества для оказания пособий учащимся в Восточной Сибири и членом Общества для содействия учащимся в Санкт-Петербурге сибирякам. На Высших женских курсах в Петербурге существовало десять стипендий им.А.М., К.М., И.М.Сибиряковых и А.М.Кладищевой.

Еще одна сфера благотворительной деятельности Александра Михайловича — строительство и благоустройство церквей. В Иркутске, в Ремесленной слободе, он построил храм во имя иконы Казанской Божьей матери, сохранившийся до сих пор; в Вознесенском монастыре благоустроил главный храм; подарил землю для строительства богадельни для вдов и сирот духовного звания.

Город оценил заслуги Сибирякова, присвоив ему в 1893 г. звание почетного гражданина Иркутска.

Миллионные затраты на финансирование экспедиций, постройку кораблей, создание тракта на север, работы на Ангаре, благотворительность сильно сократили состояние Сибирякова. В начале XX в. он отошел от активной предпринимательской деятельности, передал дела сыну и уехал из Иркутска. Жил в Ницце, Батуми, Париже, Цюрихе. В 1920 г. шведский консул в Ницце разыскал Сибирякова. Александр Михайлович жил в глубокой бедности. Благодаря усилиям консула и председателя Географического общества в Стокгольме шведское правительство в 1921 г. назначило Сибирякову пожизненную пенсию в размере 3000 крон ежегодно.

Умер Сибиряков 2 ноября 1933 г. в Ницце. Три шведа и одна француженка, хозяйка гостиницы, шли за гробом человека, который, явив пример «бескорыстного служения общему делу... имеет все права на признательность своих соотечественников».

Имя Александра Сибирякова донесли до наших дней названия нескольких кораблей. Первым был пароход, построенный в 1908 г. в Англии; в 1915 г. он был куплен Россией и назван «Александр Сибиряков». Он имел героическую историю. В 1932 г. этот корабль совершил первое сквозное плавание по Северному морскому пути за одну навигацию. Тогда Александр Михайлович был еще жив и, наверное, узнал об этом. В 1942 г. «Сибиряков» в неравном бою с немецким крейсером погиб. В его честь этим именем был назван другой ледокольный пароход (плавал до 1972 г.), а позднее — теплоход, плавающий и поныне.

Неизвестный журналист оказался прав: имя Сибирякова — как название корабля — стало достоянием потомства. Хочется думать, что наступит время, когда соотечественники воздадут должное и человеку, отдавшему свои силы и состояние «на пользу города Иркутска, Сибири и вообще человечества»^{*}. ■

* Известия Иркутской городской думы. 1893. Т.1. С. 334.

ПРИРОДА

Над номером работали
Ответственный секретарь

Ю.К.ДЖИКАЕВ

Научные редакторы

О.О.АСТАХОВА

Л.П.БЕЛЯНОВА

Е.Е.БУШУЕВА

М.Ю.ЗУБРЕВА

Г.В.КОРОТКЕВИЧ

К.Л.СОРОКИНА

Н.В.УЛЬЯНОВА

Н.В.УСПЕНСКАЯ

О.И.ШУТОВА

Литературный редактор

М.Я.ФИЛЬШТЕЙН

Художественный редактор

Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией

И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор

Г.С.ДОРОХОВА

Перевод

П.А.ХОМЯКОВ

Набор

Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры

В.А.ЕРМОЛАЕВА

Л.М.ФЕДОРОВА

Графика, верстка

Д.А.БРАГИН

Адрес редакции:

117810, Москва, ГСП-1

Мароновский пер., 26

Тел.: 238-24-56, 238-25-77

Факс: (095) 238-26-33

Подписано в печать 23.08.2000

Формат 60×88 1/4

Бумага типографская №1

Офсетная печать

Усл. печ. л. 10,32

Усл. кр.-отт. 67,8 тыс.

Уч.-изд. л. 15,1

Заказ 3963

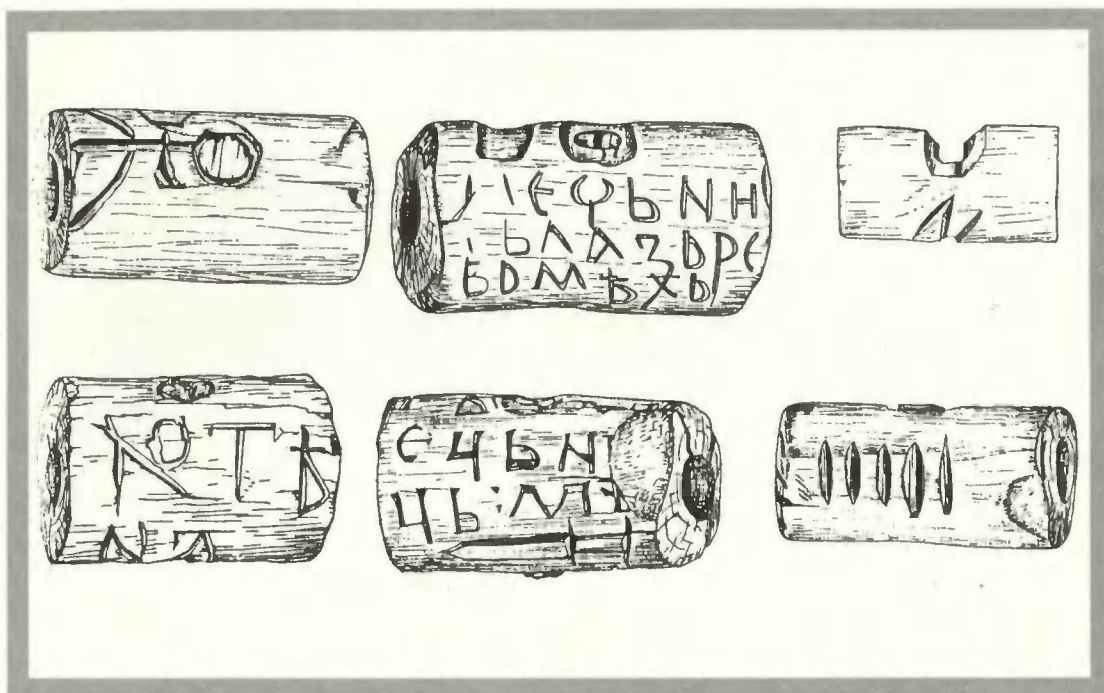
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ИПП

типографии «Наука»

Академиздатцентра «Наука» РАН,

121099, Москва, Шубинский пер., 6



Как сформировался вечевой строй Новгорода, столь необычная форма средневековой государственности? Насколько демократично было новгородское общество? Какую роль играло призвание в Новгород варяжского князя?..

При раскопках Новгорода в слоях XI — начала XII в. найдены странные предметы в виде деревянных цилиндров, на поверхности которых обозначены денежные суммы, упоминаются имена местных бояр, названия географических пунктов, уже известных по берестяным грамотам. Изучение этих замков-бирок позволило установить, что уже в то давнее время сбор государственных доходов контролировали сами новгородцы, а вовсе не приглашенный правитель.

Янин В.Л. НОВГОРОД — РАСКРЫТАЯ КНИГА РУССКОГО СРЕДНЕВЕКОВЬЯ

