

ISSN 0032 - 874X

ПРИРОДА

8 94



Главный редактор академик А.Ф.АНДРЕЕВ

Первый заместитель главного редактора А.В.БЯЛКО

Заместители главного редактора:

А.А.ГУРШТЕЙН (история естествознания),

А.А.КОМАР (физика),

А.К.СКВОРЦОВ (биология),

А.А.ЯРОШЕВСКИЙ (науки о Земле)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

И.Н.АРУТЮНЯН (редактор отдела физико-математических наук), О.О.АСТАХОВА (редактор отдела биологии и медицины), кандидат химических наук Л.П.БЕЛЯНОВА (ответственный секретарь), член-корреспондент РАН Н.А.БОГДАНОВ (геология), член-корреспондент РАН В.Б.БРАГИНСКИЙ (физика), член-корреспондент РАН А.Л.БЫЗОВ (физиология), доктор географических наук А.А.ВЕЛИЧКО (палеогеография), академик АМН А.И.ВОРОБЬЕВ (медицина), доктор биологических наук Н.Н.ВОРОНЦОВ (охрана природы), академик М.Е.ВИНОГРАДОВ (биоокеанология), член-корреспондент РАН С.С.ГЕРШТЕЙН (физика), доктор географических наук Н.Ф.ГЛАЗОВСКИЙ (география), академик Г.С.ГОЛИЦЫН (физика атмосферы), академик Г.В.ДОБРОВОЛЬСКИЙ (почвоведение), академик В.А.ЖАРИКОВ (геология), член-корреспондент РАН Г.А.ЗАВАРЗИН (микробиология, экология), М.Ю.ЗУБРЕВА (редактор отдела географии и океанологии), академик В.Т.ИВАНОВ (биоорганическая химия), академик В.А.КАБАНОВ (общая и техническая химия), Г.В.КОРОТКЕВИЧ (редактор отдела научной информации), академик Н.П.ЛАВЕРОВ (геология), Л.Д.МАЙОРОВА (редактор отдела геологии, геофизики и геохимии), доктор биологических наук Б.М.МЕДНИКОВ (биология), Н.Д.МОРОЗОВА (научная информация), доктор геолого-минералогических наук Л.Л.ПЕРЧУК (геология), доктор технических наук Д.А.ПОСПЕЛОВ (информатика), член-корреспондент РАН В.А.СИДОРЕНКО (энергетика), академик В.Е.СОКОЛОВ (зоология), академик В.С.СТЕПИН (философия естествознания), академик В.Н.СТРАХОВ (геофизика), Н.В.УСПЕНСКАЯ (редактор отдела философии, истории естествознания и публицистики), академик Л.Д.ФАДДЕЕВ (математика), доктор биологических наук М.А.ФЕДОНКИН (палеонтология), доктор биологических наук С.Э.ШНОЛЬ (биология, биофизика), О.И.ШУТОВА (редактор отдела экологии и химии), доктор физико-математических наук А.М.ЧЕРЕПАЩУК (астрономия, астрофизика).

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Большая лесная перламутровка в полете. См. в номере: **Гродинский Д.Л.** Эволюция полета насекомых.

Фото В.И.Гуменюка

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Ущелье, выработанное мощным потоком воды из древнего ледникового озера на Алтае. См. в номере: **Рудой А.Н.** Скейбленд Центральной Азии.

Фото автора



Всероссийское объединение издательских, полиграфических и книготорговых предприятий «Наука»

© Российская академия наук
журнал «Природа» 1994

В НОМЕРЕ

3 Рудой А. Н. СКЕЙБЛЕНД ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Термин «скейбленд», введенный в 20-х годах нашего века американцем Дж. Х. Бретцем для необычного рельефа Колумбийского плато, имеет более широкую географическую привязку. К скейблендам можно отнести территории, на которых оставили следы катастрофические прорывы подпруженных ледниками озер не только в Северной Америке, но и в Центральной Азии.

21 Гладышев А. И. СКИФСКИЙ СЛАДКИЙ КОРЕНЬ

Целительные свойства корня солодки известны с незапамятных времен. Выращивание этого растения в культуре позволило бы и использовать его в промышленных масштабах, и восстановить солодковые сообщества.

27 Гродницкий Д. Л. ЭВОЛЮЦИЯ ПОЛЕТА НАСЕКОМЫХ

Как и почему эволюция создала много способов летать? Ответить на этот вопрос помогает изучение сравнительной аэродинамики полета насекомых.

33 ИЗ ИСТОРИИ РОССИЙСКОЙ АРХЕОЛОГИИ

Мунчаев Р. М., Смирнов К. А. 75 ЛЕТ ИНСТИТУТУ АРХЕОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (33)
«ДРЕВНОСТИ НАШЕГО ОТЕЧЕСТВА» (35)

Крайнов Д. А. УНИКАЛЬНАЯ МАСКА ИЗ РОГА ЛОСЯ (41)

44 Пименов Н. В., Саввичев А. С., Опекунев А. Ю., Барт М. Е.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СЕРОВОДОРОДНОГО ЗАРАЖЕНИЯ ВОДОЕМОВ

Микробиологические и биогеохимические исследования водной толщи и донных осадков р. Преголи позволили установить причины активизации микробиологического процесса образования сероводорода и разработать оригинальный метод борьбы с сероводородным заражением водоемов.

48 Ольховатов А. Ю. ПЛАЗМЕННЫЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ И КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

Анализ многочисленных запусков ракет и спутников показал, что возможно значительное воздействие космического тела на ионосферу, которое усиливается с ростом возмущающего фактора.

56 Лучицкая М. В. ВКЛЮЧЕНИЯ В ГРАНИТАХ

Изучая включения в гранитах — одной из наиболее распространенных пород земной коры, удалось получить принципиально новую информацию об эволюции гранитной магмы.

62 Калинин В. Д. ЦИТОЛОГ ГРИГОРИЙ ИОСИФОВИЧ РОСКИН

В судьбе Г. И. Роскина, известного цитолога, профессора Московского университета, возглавлявшего кафедру гистологии почти 30 лет, наиболее отчетливо отразился социальный колорит нашей недавней отечественной истории.

75 Силкин Б. И. «ЮБИЛЕЙ» ВУЛКАНА КИЛАУЭА

80 Мужикин С. И. ВЗВЕСИ И ТЕЧЕНИЯ В КАРСКОМ МОРЕ

82 Цыган А. И. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОЛЯ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД

Эффект увлечения инерциальных систем отсчета играет определяющую роль в генерации электрических полей нейтронных звезд — пульсаров.

86 Торн К. С. ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ И ИСКРИВЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ: ДЕРЗКОЕ НАСЛЕДИЕ ЭЙНШТЕЙНА

100 Несис К. Н. ЧЕРВИ, КОТОРЫЕ ЛЮБЯТ ЖИТЬ НА ГОРЯЧЕЙ СКОВОРОДКЕ

102 Грэхэм Л. Р. НЕДАВНЕЕ ПРОШЛОЕ ГРОМАДНОЙ НАУКИ В ГРОМАДНОЙ СТРАНЕ

Советские ученые составляли в численном отношении самое крупное в мире научное сообщество. Вместе с тем по любому из принятых для сравнения формальных критериев достижения советской науки не так уж велики. Каков потенциал российской науки? Следует ли ей копировать западную систему организации?

111 КОРОТКО

112 НОВОСТИ НАУКИ (79, 99)

РЕЦЕНЗИИ

124 Бялко А. В. Я. Б. ЗЕЛЬДОВИЧ, ВЗГЛЯД В БЕССМЕРТИЕ

ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ

127 Гельман Э. Е. МАРКО ПОЛО... ЕВРОПЕЙСКИЙ ПЕРВОПЕЧАТНИК?

ОБЪЯВЛЕНИЯ (121)

IN THIS ISSUE:

3 Rudoi A. N.
SCABLAND OF THE CENTRAL ASIA

A term "scabland" was introduced in the 20-ties by American geologist J. Bretz for unusual reliefs of the Columbian plateau, but now it has a much wider geographical sense. For example we treat as scablands the territories which were formed during catastrophic breaks of lakes closed by ice barriers not only in the North America, but also in the Central Asia are studied.

21 Gladyshev A. I.
THE SCYTHIANS SWEET ROOT

The healing properties of licorice are well known from time immemorial. The cultivation of this plant will allow to use it in industrial scales and to restore its natural habitat.

27 Grodnitski D. L.
THE EVOLUTION OF THE INSECTS FLIGHT

How and why in the process of evolution different ways of flying were developed? To find an answer to this question helps the comparative study of the insects flight aerodynamics.

33 FROM THE HISTORY OF RUSSIAN ARCHAEOLOGY

Munchaev R. M., Smirnov K. A.
75-TH ANNIVERSARY OF THE ARCHAEOLOGICAL INSTITUTE OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES (33)
"ANTIQUITIES OF OUR MOTHERLAND" (35)

Krainov D. A.
THE UNIQUE MASK MADE OF ELK HORN (41)

44 Pimenov N. V., Savvichev A. S., Opekunov A. Yu., Bart M. E.
MICROBIOLOGIC PROCESSES OF LAKES CONTAMINATION BY HYDROSULFIDE

With the help of microbiologic and biogeochemical studies of waters and benthic sediments in the Pregol river the authors found out the reasons of the microbiologic activation of the hydrosulfide formation process. They developed an original method for decreasing the hydrosulfide contamination of waters.

48 Olkhovatov A. Yu.
PLASMA INSTABILITIES AND SPACECRAFT

The analysis of many launchings of rockets and satellites shows that there is a considerable influence of a cosmic body on the ionosphere which increases with the growth of perturbations.

56 Luchitskaya M. V.
INCLUSIONS IN GRANITES

By studying inclusions in granites — one of the most widespread rocks of the Earth crust — we succeed to obtain a principally new information about the past evolution of granite magma.

62 Kallinikova V. D.
CYTOLOGIST GRIGORY IOSIFOVICH ROSKIN

The famous cytologist G. I. Roskin was a professor of the Moscow State University for about 30 years being the head of the department histology. His fate is a clear example of our recent history.

75 Silkin B. I.
THE VOLCANO KILAUEA "JUBILEE"

80 Mujakshin S. I.
SEDIMENTS AND CURRENTS IN THE KARAKUM DESERT

82 Tsygan A. I.
ELECTRIC FIELDS OF THE NEUTRON STARS

The effects of dragging of inertial frames plays crucial role in the process of generation of the electric fields of the neutron stars — radio pulsars.

86 Thorne K. S.
BLACK HOLES AND TIME WARDS: EINSTEIN'S OUTRAGEOUS LEGACY

100 Nesis K. N.
WORMS WHO GO WILL IN SCORCHING FRYING-PANS

102 Graham L. R.
BIG SCIENCE IN THE LAST YEARS OF THE BIG SOVIET UNION

Soviet scientists numerically represented the world's largest scientific community. However their achievements evaluated with the help of the generally used criteria are not so spectacular. What is the real potential of the soviet science? And should it try to copy the West system in its organization?

111 NEWS IN BRIEF

112 SCIENCE NEWS (79, 99)

124 BOOK REVIEWS
Byalko A. V.
YA. B. ZELDOVICH, A LOOK INTO ETERNITY

127 MEETING THE FORGOTTEN PAST
Gelman Z. E.
MARCO POLO — THE EUROPEAN PRINTING PIONEER?

ANNOUNCEMENTS (121)

Скейбленд Центральной Азии

А. Н. Рудой



Алексей Николаевич Рудой, кандидат географических наук, заведующий кафедрой общей географии и рационального природопользования Томского государственного педагогического института, старший научный сотрудник лаборатории геофизики и геодинамики Томского университета. Занимается проблемами геоморфологии ледниковых регионов. Участник многочисленных экспедиций, в том числе высокогорных — на Памир, Тянь-Шань, Горный Алтай.

ЕЩЕ в 20-х годах нашего века американский геолог и гляциолог Дж. Х. Бретц для определения необычного рельефа обширного Колумбийского плато ввел в научную литературу словосочетание «The channeled scabland», что в вольном переводе означает «изрезанная каналами земля». Действительно, на этой «земле» в базальтовую поверхность врезаны многочисленные ущелья, каньоны, каналы, ступени бывших водопадов. В упрощенном смысле термин «скейбленд» (от англ. scab — струп, корка, короста; land — земля); как нам кажется, может иметь более широкую географическую привязку и более широкое толкование, если к скейблендам отнести все территории, на которых оставили следы катастрофические прорывы подпруженных ледниками озер. Свидетельства гигантских паводков в виде специфических форм рельефа и отложений в последние десятилетия обнаруживаются не только в Новом Свете, но и в Центральной Азии, и в частности на Алтае, где более 20 лет проводил геоморфологические изыскания автор этих строк. Прежде чем обратиться к результатам работ, вспомним первооткрывателя скейбленда Бретца и его гипотезу, вызвавшую настоящий взрыв среди геологов, занимавшихся четвертичной геологией Северо-Американского континента.

ГИПОТЕЗА БРЕТЦА

Первая работа Бретца о скейбленде в штате Вашингтон появилась в 1923 г.¹ В ней он высказал мысль, что переплетающиеся (в плане) узкие и глубокие каналы — кули — возникли на плато в результате короткого мощного наводнения, названного Бретцем паводком Спокан. Он возник примерно 13 тыс. лет назад, когда североамериканские реки Снейк и Колумбия были подпружены Лаврентийским ледниковым щитом. Со временем в образовавшемся озере скопилось

© Рудой А. Н. Скейбленд Центральной Азии.

¹ Bretz J. H. // J. of Geology. 1923. V. 31. P. 617—622.



Современное приледниковое озеро в высокогорье Центрального Алтая.

Здесь и далее фото автора

критическая масса воды, и она с огромной скоростью хлынула через доледниковые водоразделы, разрушая базальтовую поверхность и образуя каскады водопадов. При этом на самих водоразделах и на склонах речных долин отложились мощные толщи осадков; Бретц назвал участки в долинах, где суперрека сбросила переносимый ею материал, барами.

В 1927 г., выступая на сессии Вашингтонского геологического общества, 44-летний профессор Чикагского университета доказывал, что особенности рельефа Колумбий-

ского плато в восточной части штата Вашингтон, которые он начал изучать несколько лет назад, не могут быть объяснены никакими другими причинами, кроме как работой грандиозных потоков воды. Однако аудитория, состоявшая в основном из работников Геологической службы США, была решительно против этой идеи: считали, что поверхность плейстоценовых равнин Северной Америки создана либо обычными водотоками, либо аномалиями режима оледенения.

Тем не менее гипотеза Бретца привлекла внимание, и в конце 20-х годов были развернуты обширные исследования геоморфологии Колумбийского плато. Наиболее детальные полевые работы провел здесь Р. Ф. Флинт, много раз наблюдавший и паводковые бары (по Бретцу), и так называемые



Горно-ледниковый бассейн Актру.

мые гигантские знаки ряби течения, в плане похожие на дюны и барханы в пустыне, но сложенные не песками, а галькой и крупными валунами. Однако Флинт считал первые «странными моренами», а вторые — «осадками обычных рек, возникшими в необычных условиях».

В 1940 г. на заседании Американской ассоциации по прогрессу науки в Сиэтле Флинт в очередной раз выступил против гипотезы Бретца (ее автор сам, кстати, на это совещание приглашен не был). Доклад Флинта был встречен чуть ли не овациями, и казалось, что дискутировать по поводу гипотезы Бретца уже незачем. Однако в кон-

це заседания выступил Дж. Т. Парди, проводивший исследования для Геологической службы США западной части штата Монтана и в штате Вашингтон. Судя по описанным им свидетельствам, в Западной Монтане существовало огромное ледниковое озеро, названное Миссула. Оно сформировалось в краевой части позднеплейстоценового ледникового покрова и включало 2500 км³ воды. Когда ледниковая плотина неожиданно рухнула, «необычные потоки» создали огромные террасы и рельеф гигантских знаков ряби, сложенный косослойной галькой и валунами². Парди указывал, что катастрофи-

² Pardy J. T. // Geol. Soc. of America Bull. 1942. V. 53. P. 1569.



Аэрофотография поля гигантских знаков ряби в Курайской межгорной впадине. Расходы воды на этом участке, по расчетам, составляли от $0,2$ до $1,8 \times 10^6$ м³/с на разных этапах формирования рельефа, а скорости потока — 12 м/с при глубине над полем ряби 50 м.

ческие прорывы этого озера были направлены на запад, в направлении Колумбийского плато, однако нигде не отмечал их связь со скейблендом. Возможно, этот факт он великодушно оставил Бретцу.

В 1952 г. 70-летний Бретц в своей последней экспедиции возвращается к проблеме «изрезанной каналами земли». Дополнительные полевые материалы, собранные на Колумбийском плато, помогли ему окончательно опровергнуть противников его гипотезы. Вновь обнаруженные многочисленные поля гигантской ряби на всей этой территории однозначно свидетельствовали о неоднократных мощных сбросах воды из плейстоценовых озер.

Дискуссию по поводу наводнения на Колумбийском плато часто описывают как конфликт между катастрофизмом и униформизмом. Последний обычно связывают с работами шотландского геолога Дж. Геттона, который утверждал, что речные долины формируются только текущими в них реками. Развивая это положение, Дж. Плейфер категорически отрицал роль катаклизмов в происхождении этих долин. Глубочайшая ирония заключается в том, что эта флювиальная гипотеза (от лат. fluvius — река, поток) возникла в долинах Шотландии, которые, как теперь хорошо известно, были образованы ледниками. В дальнейшем выяснилось, что многие необычные осадки и формы рельефа — эрратические валуны, альпий-

ские озера, височие долины — не могли быть сформированы речной эрозией, а возникли при участии оледенения. Даже после общего признания роли гляциального паводка в образовании колумбийского скейбленда его считали единственным и уникальным. Сам Бретц подчеркивал, что он занимается изучением особого случая.

Дж. Бретц прожил без малого 100 лет. Его исследования были продолжены при жизни. В 1979 г. он был удостоен наивысшей награды Геологического общества США — Пенроузской медали.

Исследования последних лет убедительно доказывают, что многократные катастрофические прорывы из ледниковых озер играли доминирующую роль в развитии ландшафта многих районов Земли. Изучение режима высокогорных приледниковых озер подтверждает гипотезу Бретца, его идеи с успехом можно экстраполировать на область исследования горных стран.

АЗИАТСКИЕ ОТКРЫТИЯ

Исследованиями режиме и характера спуска ледниково-подпрудных озер в нашей стране до недавнего времени специально никто не занимался. Правда, Л. Н. Ивановский, патриарх сибирской гляциальной геоморфологии, неоднократно отмечал, что ледниковые озера глубиной в сотни метров не могли осушаться без нарушения стока,

а образования, принимаемые некоторыми исследователями за морены, на самом деле могут быть следами грандиозных наводнений³. О катастрофических прорывах плейстоценовых Дархатского и Хубсугульского ледниково-подпрудных озер в северной Монголии сообщает в своих работах М. С. Гросвальд⁴. Расходы этих паводков составляли в позднем плейстоцене около 400 тыс. м³/с.

Первые наши публикации, в которых рассматривались именно эти проблемы, появились в начале 80-х годов⁵. Они были основаны на экспедиционных исследованиях рек Горного Алтая. Здесь в долинах Катуня, Чуи, Бии, Чулышмана, Башкауса были открыты геологические следы катастрофических прорывов гигантских котловинных ледниково-подпрудных озер, существовавших в горах южной Сибири и северной Монголии в плейстоцене. К концу этого десятилетия были в основном описаны все местонахождения этих следов. Выяснилось, что они часто встречаются в верховьях Енисея и Прибайкалье.

Летом 1991 г. под руководством автора этой статьи состоялась первая международная экспедиция, изучавшая геологические последствия плейстоценовых гляциальных паводков на Алтае. В ней принял участие американский геоморфолог, профессор Аризонского университета В. Бейкер — ученый, научный последователь и популяризатор идей Дж. Бретца.

В нашей экспедиции было установлено, что алтайский набор следов катастрофических прорывов гляциальных озер в основном идентичен североамериканскому. Отличия в строении или преобладании тех или иных форм объясняются различиями в исходном рельефе, а также в типе оледенения. Четвертичные подпрудные озера Северной Америки располагались у края ледника, т. е. были приледниковыми (перигляциальными), а ледниково-подпрудные озера южной Сибири были в основном окруже-

ны ледниками, т. е. были интрагляциальными. Это и обусловило особенности истории озер на всех этапах их эволюции. Одним из научных итогов этих совместных полевых работ было заключение, что термин «скейбленд» может иметь более широкое значение в геоморфологии.

Нужно признать, что наши выводы как когда-то гипотеза Бретца, нередко встречают сопротивление со стороны геологов и гляциологов в нашей стране. Одни не согласны с нашими объяснениями формирования паводковых форм, другие отрицают существование в четвертичное время и самих ледников, превышающих по размерам современные.

Главное же сомнение вызвали величины скоростей и расходов катастрофических паводков, которые, по нашим данным, превышали на Алтае соответственно 20 м/с и 1 млн. м³/с. Мой доклад на Международном симпозиуме по четвертичной стратегифии в Находке в 1988 г., содержащий эти данные, был воспринят некоторыми специалистами со скепсисом и вызвал много вопросов, которые показали, что их авторы подходят к реконструкциям ледниковых событий с позиций традиционной, моренной палеогляциологии. По нашему мнению, регистрация конечно-моренных комплексов и построение на этой основе очертаний древних ледников — метод, явно недостаточный для палеогляциологических реконструкций четвертичного периода в горных странах. Выявить абсолютный возраст всех конечных морен в долине — задача чрезвычайной технической сложности.

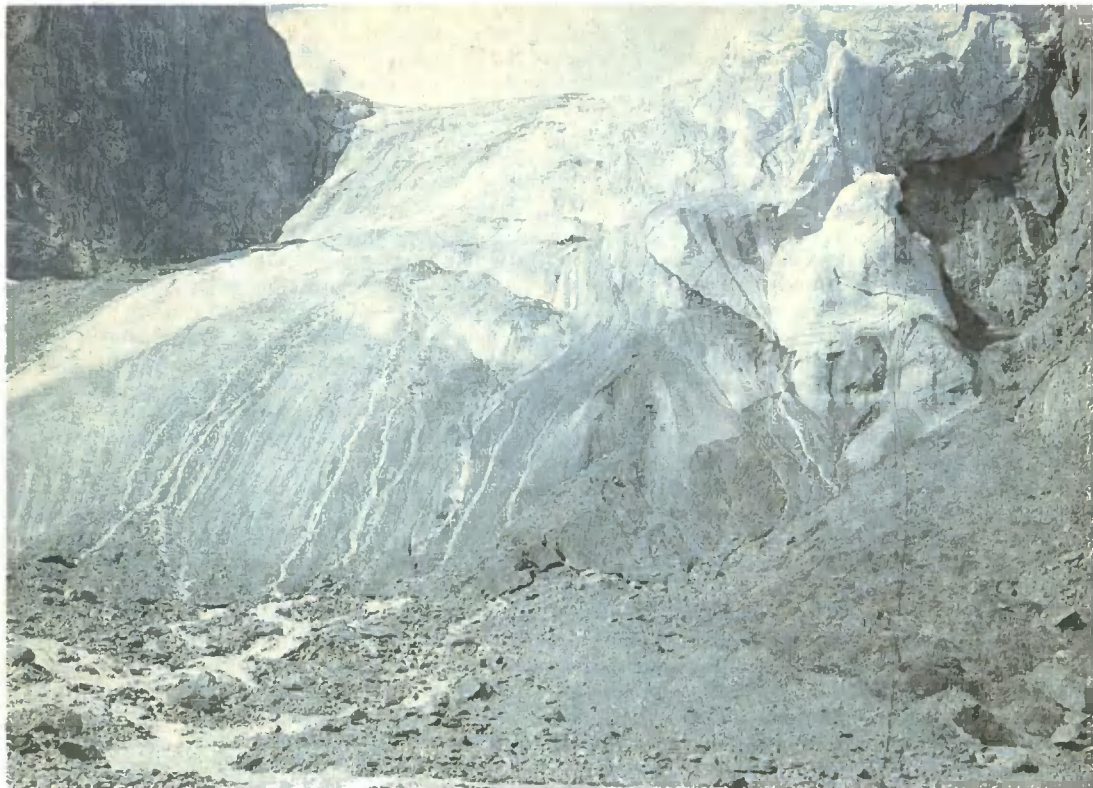
В магистральных долинах стока на Алтае, например, нет ни одной «единодушно закартированной» морены. Вероятно, их там нет вообще, и не потому, что эти долины не были заняты четвертичными ледниками, а потому, что по ним шел сток из гигантских ледниково-подпрудных озер прошлого, и конечные морены были уничтожены частично или полностью. И если в долинах притоков исследователи в своих реконструкциях все же помещают позднечетвертичные и голоценовые ледники, поскольку в этих долинах undoubtedly имеются конечные морены, то в основных речных долинах «моренный» метод не работает, и разные авторы по субъективным соображениям (а возможно, в силу различных темпераментов) либо вообще не доводят до них ледники, либо полностью заполняют древние отроги льдом и выводят ледники куда-нибудь за Горно-Алтайск.

В последнее время к нашей концепции о роли катастрофических паводков все же начинают привыкать, потому что она

³ Ивановский Л. Н. Гляциальная геоморфология гор. Новосибирск, 1981.

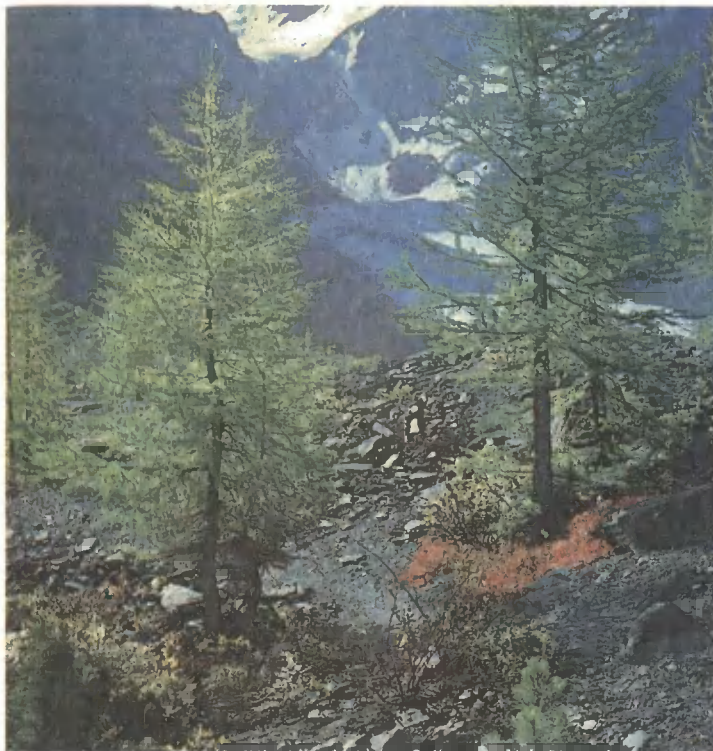
⁴ Гросвальд М. Г. Последнее оледенение Саяно-Тувинского нагорья: морфология, интенсивность питания, подпрудные озера // Взаимодействие оледенения с атмосферой и океаном. М., 1987.

⁵ Бутвиловский В. В. О следах катастрофических сбросов ледниково-подпрудных озер Восточного Алтая // Эволюция речных систем Алтайского края и вопросы практики. Тез. докл. Барнаул, 1982. С. 12—16; Рудой А. Н. Гигантская рябь течения — доказательство катастрофических прорывов гляциальных озер Горного Алтая // Современные геоморфологические процессы на территории Алтайского края. Бийск, 1984. С. 60—64.



Отступающий горно-долинный ледник.

Потоки стекающей с ледника воды.



Сентябрь в приледниковой зоне.

убедительно разрешает многие необъяснимые с традиционных позиций загадки четвертичной геологии. Вкратце эту концепцию можно сформулировать следующим образом. В областях покровных и горных оледенений возникали гигантские ледниково-подпрудные озера. Характерной чертой их режима были катастрофические опорожнения (эти прорывы называют еще исландским словом «йокульлаупы»).

Известно, что прорывы современных приледниковых озер, количество которых исчисляется тысячами, приводят к грандиозным наводнениям, уничтожающим жилые и хозяйственные объекты, транспортные магистрали, вызывающим человеческие жертвы (Исландия, Каракорум, Альпы, Кавказ, Памир, Аляска и т. д.). Размеры плейстоценовых ледниково-подпрудных озер на несколько порядков превышали современные. Расходы прорывных паводков, определенные независимыми методами, достигали 1 млн. м³/с, скорости потоков — 15—20 м/с, а глубины суперрек составляли сотни метров.

Прорывные гляциальные паводки производили огромную геологическую работу в чрезвычайно короткие промежутки времени. При этом исходный рельеф претерпевал ко-

лоссальные трансформации, масштабы которых сопоставимы с другими известными природными катаклизмами — землетрясениями, вулканизмом, цунами. В связи с этим представляется уместным говорить об особом процессе образования рельефа, который я предложил в 1986 г. назвать дилувиальным (от лат. diluvium — потоп, наводнение). По звучанию этот термин хорошо соотносится с названиями многих генетических типов рыхлых отложений и форм рельефа, таких, например, как «аллювий, пролювий, коллювий».

ПРИЗНАКИ СКЕЙБЛЕНДА

Поверхность скейбленда формируется тремя типами рельефо-образующего процесса, определяющими набор форм и преобладание одних форм над другими в зависимости от объема озер, мощности ледниковых плотин, исходного ландшафта, количества и энергии прорывов⁶.

⁶ Рудой А. Н., Галахов В. П., Данилин А. Л. Реконструкция ледникового стока верхней Чуи и питание ледниково-подпрудных озер в позднем плейстоцене // Изв. Всесоюз. геогр. о-ва. 1989. Т. 121. Вып. 2. С. 236—244.

Во-первых, это **дилювиальная суперэрозия**. Она в первую очередь вырабатывает глубокие ущелья на путях стока воды (**ущелья прорыва**). На прямолинейных участках магистральных долин стока частично или полностью вымывается обломочный материал, разрушаются выпуклые склоны, интенсивно подрезаются древние конусы выноса (что особенно характерно для Чулышмана), долины резко углубляются. Перевальные седловины, по которым излишки вод при переполнении озер сбрасывались в соседние бассейны, превращаются в **сквозные долины** — спиллвеи (от англ. spillway — водослив), имеющие каньонообразные, реже — узкие ящикообразные поперечные профили. В тех случаях, когда долина стока не вмещает проходящие массы воды, поток переплескивается через местные водоразделы, вырабатывая новую серию долин и ущелий. Поток при этом транспортирует и аккумулирует высоко на склонах и на водораздельных поверхностях валуны и глыбы весом в десятки и сотни тонн, слабо окатанные в отличие от валунов ледникового происхождения.

Выделенные в Северной Америке дилювиально-эрозийные каналы-кули в горах Центральной Азии встречаются редко. На Алтае обнаружен лишь один участок скейбленда, где система ветвящихся, изломанных в плане, глубоких (50—70 м) каналов осложняет центральную часть долины р. Чаган. Чаганский скейбленд был сформирован около 3 тыс. лет назад в результате многочисленных прорывов ледниково-подпрудного озера Ак-Коль, которое блокировалось ледниками долины р. Кара-Оюк и левобережного трога-притока. Днище долины Чагана ниже участка прорывов почти полностью лишено рыхлого чехла, переплетающиеся каналы-кули, по одному из которых протекает современная река, создают экзотический ландшафт высокогорного скейбленда.

Во-вторых, это **эврозия** — эрозия горных пород, обусловленная донным вращением вертикально падающей воды. **Дилювиально-эврозийные формы** образовывались при сбросах части озерных вод через местные водоразделы и перевальные седловины, когда возникали кратковременные, но исключительно энергичные водопады, сформировавшие огромные, в сотни метров в диаметре и в десятки метров глубиной, **водобойные ванны, воронки, эврозийные ниши, котлы высверливания**. Некоторые из них сейчас заняты очень живописными озерами (Куйзольские впадины в Горном Бадахшане или, например, Айское озеро — известный

курорт на Алтае). В основном же такие впадины в настоящее время сухие. В Горном Алтае весьма впечатляюще выглядят «сухие водопады» в центральной части долины р. Чулышман (урочище р. Катуюрык), в которую сбрасывались излишки воды из Улаганского ледниково-подпрудного озера в ледниковый постмаксимум вюрма.

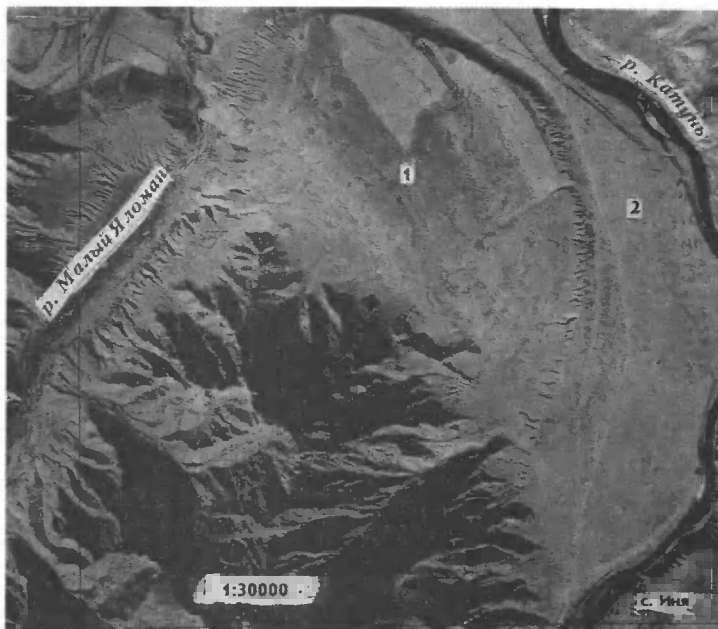
В-третьих, это **дилювиально-аккумулятивная деятельность** прорывных паводков. Ее результаты представляют наибольший интерес, так как поддаются, в основном, однозначной геологической и морфологической диагностике, а также могут служить инструментом для расчетов гидравлических параметров прорывов. Из выделенных ранее типов и форм самого подробного внимания заслуживают дилювиально-аккумулятивные валы и террасы (бары, по Бретцу), а также рельеф гигантской ряби течения (паводковые дюны и антидюны).

Валы и террасы развиты во всех магистральных долинах стока из ледниково-подпрудных озер. Они особенно представительны в нижнем течении долины Чуи и в среднем и нижнем течении Катунь. Эти образования представляют собой мощные, свыше 240 м над урезами рек, толщи ясно-слоистых, чисто промытых гравийно-щебнистых отложений, включающих в себя слои и линзы песков и супесей, угловатые валуны и глыбы весьма пестрого петрографического состава. Толщи накапливались при резком падении энергии потока либо в условиях обратного течения в зонах «эрозийной тени» непосредственно ниже изгибов основной долины или в больших расширениях долин. Формирование толщ происходило в результате одного мощного прорыва или, что вероятнее, работы нескольких паводков. Обломочный материал переносился преимущественно во взвешенном состоянии.

Из-за более поздней эрозии толщи представляют сейчас очень четкие террасовидные скульптурные формы с хорошо очерченными бровками и ясно выраженными уступами. Поверхности дилювиальных террас в общем случае наклонены к коренным бортам долин, часто осложнены небольшими изометричными западинами, фиксирующими участки подводных водоворотов. Бровки террас обычно подчеркиваются береговыми валами. Дилювиальные террасы блокируют боковые притоки и лога магистральных долин. В Центральном Алтае эти образования известны как «высокие террасы» Чуи и Катунь.

К предгорьям высота дилювиальных террас уменьшается до 100 м, а в районе Горно-

Аэрофотография дилювиально-аккумулятивных толщ («высоких террас») средней Катунь на участке Иня — Малый Яломви. 1 — площадка террасы; 2 — паводковые дюны.



Алтайска — до 60 м (Майминский вал), в их строении увеличивается доля хорошо промытых грубозернистых песков, возрастает окатанность гравия и гальки.

Судя по мощности отложений «высоких террас», минимальные глубины дилювиальных потоков в долинах Чуи и Катунь составляли по крайней мере 250 м.

Должен отметить, что механизм накопления дилювиальных отложений, слагающих «высокие террасы» Центрального Алтая, требует специального изучения. Для объяснения своеобразия состава дилювиально-аккумулятивных толщ в целом закономерности, справедливые для обычного руслового процесса, не являются, как показывает опыт, инструментом для палеогидрологических реконструкций. Мы имеем дело с принципиально иным процессом, размерность которого на несколько порядков превышает гидравлические параметры даже самых мощных современных водотоков.

Гигантские знаки ряби течения — морфологический и генетический макроаналог мелкой песчаной ряби. Это активные русловые формы, возникающие в руслах дилювиальных суперпотоков.

В плане гигантские знаки ряби представляют собой систему вытянутых, слабоизвилистых гряд серповидной формы, почти перпендикулярных простиранию долин. Межрядовые понижения разделены небольшими перемычками. Выпуклые части серповидных гряд обращены навстречу течению палеопотока. Длина гряд коррелирует с их

высотой и достигает 1—2 км (Курайская впадина). Самая малая протяженность (30—60 м) паводковых дюн — в Центральном Алтае и в депрессии оз. Кара-Кель (западная часть Курайской впадины).

Высота и длина знаков ряби также различны и отражают гидродинамику потока. Максимальная длина волны отмечена в правобережье р. Тете — около 200 м при превышении над междурядовой западиной в 15 м и более.

Некоторое недоумение геологов вызывала необычная ориентировка гигантских дюноподобных паводковых гряд в Курайской котловине, обратная современному направлению Чуи. Другими словами, огромные массы воды над полем ряби, как уже отмечалось, изливались в сторону Монголии.

Методами математического моделирования объема ледникового стока в позднем вюрме было установлено, что Курайское ледниково-подпрудное озеро заполнялось тальми водами в среднем втрое быстрее, чем периодически сообщаемая с ним Чуйская межгорная впадина (до одних и тех же отметок, отчетливо фиксируемых сейчас береговыми линиями в обеих котловинах). Поэтому до выравнивания уровней озер сток воды был направлен из Курайской котловины на восток, в бассейн заполняющегося Чуйского озера.

Возможен еще один сценарий палеогидрологических событий, способный удовлетворительно объяснить «странную» ориентировку гигантской ряби в Курайской



Стационар Актру сибирских гляциологов в приледниковой зоне Алтая.

впадине. При изменении конфигурации речного русла (изгиб, поворот, расширение и т. п.) гидродинамический режим меняется, меняются участки активной донной и боковой эрозии, прибрежной и иной аккумуляции. Скорости течения на разных участках русла различны. В некоторых местах возникают зоны энергичных локальных водоворотов, а также более обширные пространства с обратными течениями. Именно на таких участках, как показывают экспериментальные и натурные материалы, возникают грязевые русловые формы, не фиксирующие, кстати, — и это очень важно — участки максимальных скоростей и глубин основного потока.

В случае с Курайской впадиной палеогидрологическая ситуация, в частности, могла выглядеть так, как показано на схеме.

Разумеется, оба сценария не противостоят друг другу.

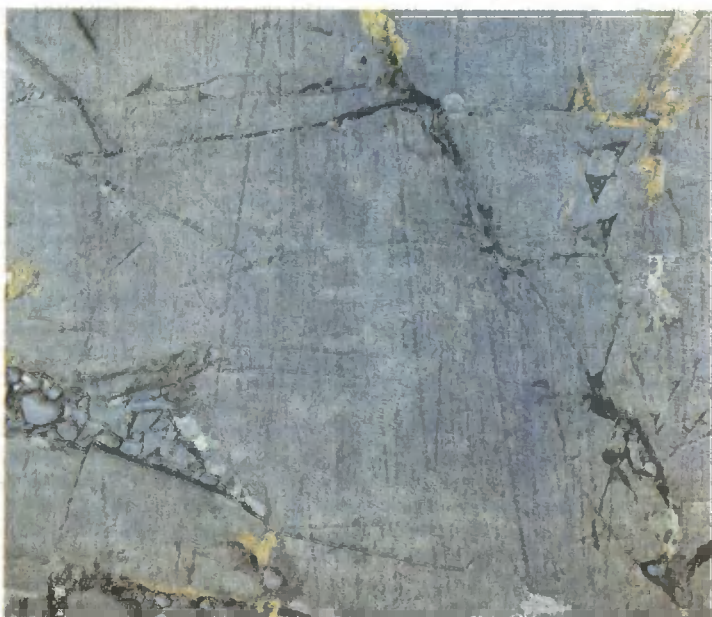
Наряду с дилювиально-аккумулятивными террасами и валами гигантские знаи рьяби являются доказательством катастрофических прорывов огромных ледниково-подпрудных озер. Если ущелья прорыва, спиллеви и другие дилювиально-эрозийные формы скейбленда можно ошибочно диагностировать с иных генетических позиций, то вместе с описанными аккумулятивными образованиями они не оставляют сомнений в однозначности их дилювиальной интерпретации.

«ВЕЛИКИЙ ПОТОП» И ПОСЛЕДНЯЯ ЛЕДНИКОВАЯ ЭПОХА

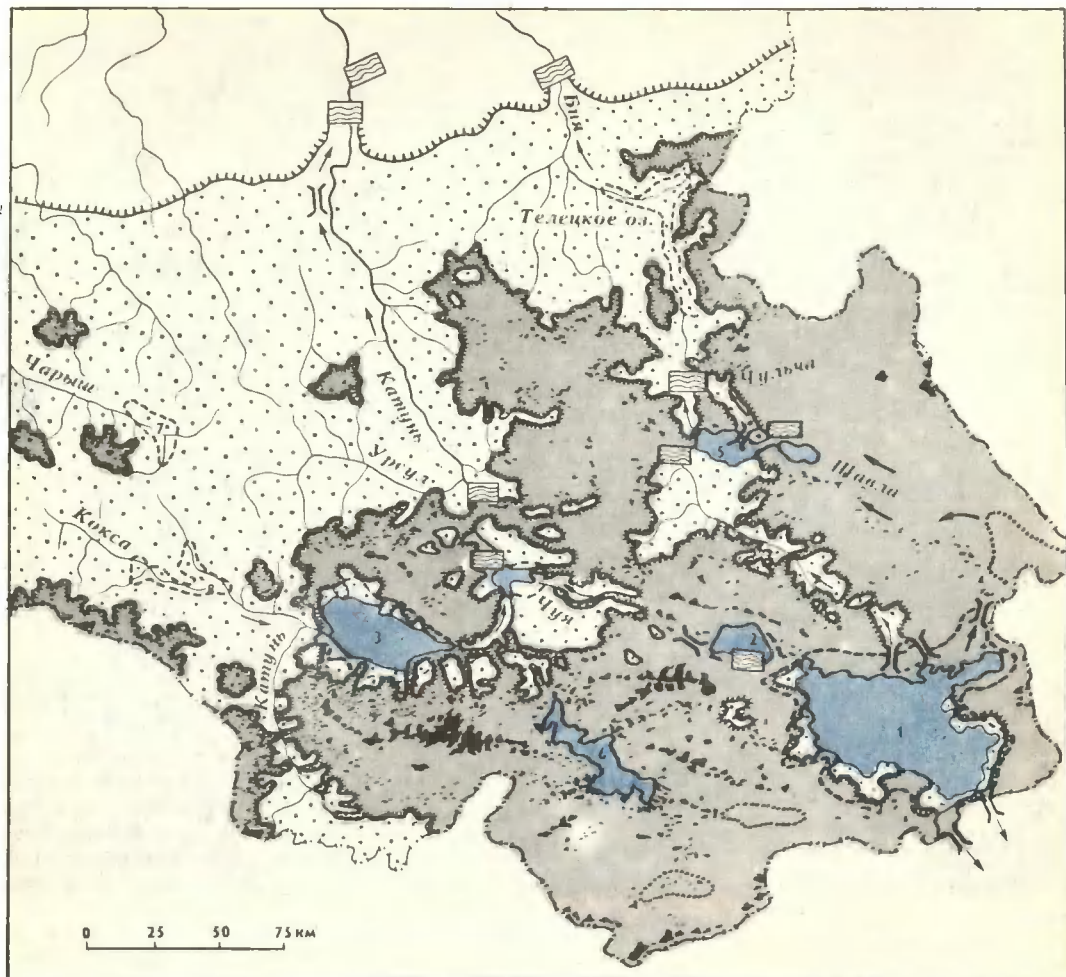
Суммарный объем котловины ледниково-подпрудных озер на Алтае в максимуме трансгрессий составлял не менее 5—6 тыс. км³, их суммарная площадь — около 25 тыс. км² («экстремисты» дают вдвое большие цифры). Объем самой большой Чуйско-Курайской озерной системы был не менее 1000 км³ при общей площади до 10 тыс. км². Курайская и Чуйская впадины












Чаганский скейбленд.



Скальная поверхность «чаганского скейбленда» почти полностью лишена рыхлого чехла и отшлифована ледниками. Она послужила древним живописцам идеальным природным холстом для создания огромной картинной галереи. Датирование групп петроглифов разных генераций дало возможность установить время освобождения долины Чагана от ледников.



Границы максимального распространения ледников:

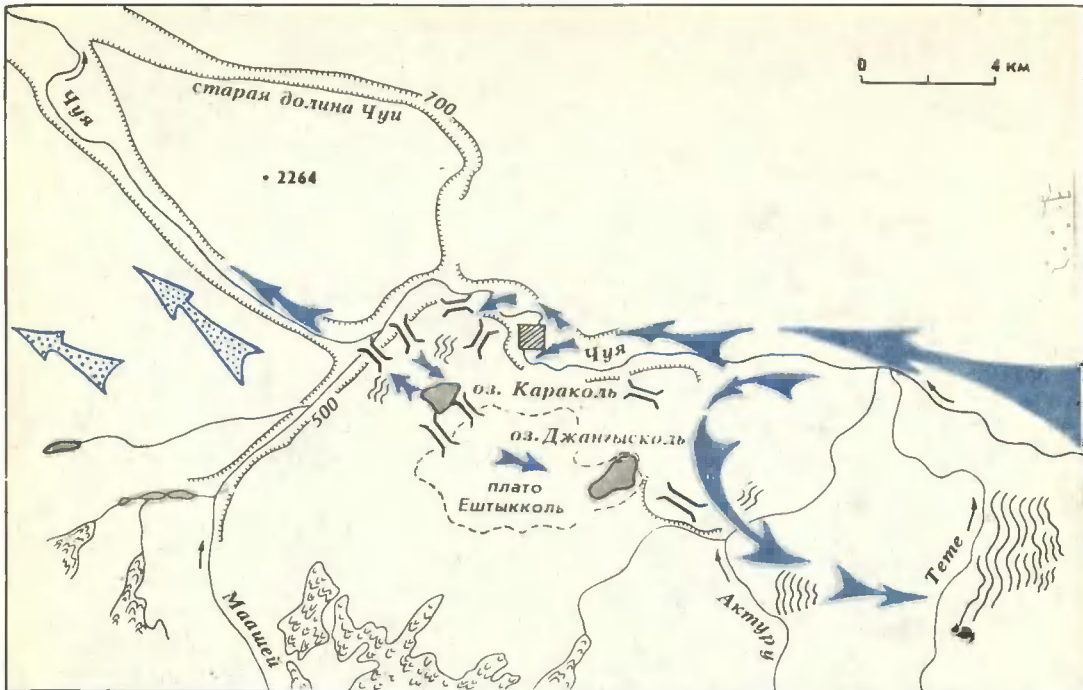
-  позднечетвертичных
-  среднечетвертичных
-  Позднечетвертичные ледниково-подпрудные озера
-  Спиллвеи
-  Участки рельефа гигантских знаков ряби
-  Среднеплейстоценовые границы озерных трансгрессий
-  Четвертичные ледоемы
-  Современные ледники
-  Направление стока из озер








Крупнейшие плейстоценовые ледниково-подпрудные озера Алтая: Чуйское [1], Курайское [2], Уймонские [3], Улаганские [4, 5], Джасаторские [6], Абайские [7], Канские [8].

Выделенным границам максимального развития позднеплейстоценовых ледников соответствуют этапы существования во впадинах ледоёмов.

заполнялись водой до абсолютных отметок как минимум 2100 и 2200 м соответственно. Исходя из расчетов талого стока с ледников в позднем плейстоцене, озера наполнялись до этих отметок в среднем раз в сто лет, после чего происходили их опорожнения.

Обнаруженные в последние годы на абсолютных отметках более 2400 м новые перевалы-спиллвеи из Курайской и Чуйской впадин в бассейны Чаган-Узуна и Башкауса соответственно, а также комплекс дилювиальных валов на еще больших высотах.



-  Направление дилювиальных потоков
-  Возможное направление дилювиальных потоков
-  Спиллвеи, ущелья заплеска
-  Гигантские знаки ряби
-  Современные ледники
-  Крутые склоны долины, их превышение над тальвегами
-  Исследованный участок долины

Палеогеологическая схема Курайской впадины времени деградации последнего оледенения [12—13,5 тыс. лет назад].

*показывают, что максимальные объемы воды в этих впадинах превышали вышеуказанные и могли составлять в сумме около 3500 км², т. е. гораздо больше максимальных объемов оз. Миссула в Америке.

Характерные для горных систем Центральной Азии обширные межгорные котловины, окруженные высокими хребтами, в ледниковое время представляли собой систему сообщающихся водоприемников, сток из которых осуществлялся по крупнейшим дренажным системам, на Алтае — по долинам Чуи, Катунь, Чулышмана, Башкауса и Би.

В случае повышенной мощности льда в устьях каналов стока регулирование запасов воды в водоприемниках происходило путем частичной ее отдачи через дренажные каналы низших порядков — перевальные седловины-спиллвеи — в соседние бассейны. Сброс части вод Чуйского озера через спиллвей Кокоря-Башкаус должен был провоцировать разгрузку системы Улаганских озер. Прорывы Чуйско-Курайских или Уймонских озер вызывали опорожнение Яломанской впадины. Все эти озерно-дренажные системы были чрезвычайно динамичными, каждый очередной сброс всех озерных вод или их излишков немедленно компенсировался за счет интенсивного талого стока с ледников горного обрамления.

Короткопериодические опорожнения и заполнения котловин (озерно-ледниковые микроритмы) накладывались на озерно-ледниковые макроритмы на всех этапах эволюции озер, за исключением случаев, когда поверхность последних вовлекалась в область питания ледников и возникали «наледные» ледоемы⁷. На начальных и конечных стадиях оледенений, когда ледниковые плотины были неустойчивы, опорожнения происходили за счет их прорыва либо всплыва-

⁷ Рудой А. Н. Ледоемы и ледниково-подпрудные озера Алтая в плейстоцене // Изв. Всесоюз. геогр. о-ва. 1990. Т. 122. Вып. 1. С. 43—52.



Дилювиальные толщи в устьевой части долины р. Иня, Центральный Алтай («высокие террасы» Катунь). На переднем плане — глыбы, принесенные суперреккой.

ния. В остальных случаях излишки вод сбрасывались через спиллвеи, а также поверх ледниковых плотин, которые в итоге тоже прорывались. В каналах стока из некоторых котловин до сих пор сохранились остатки морен. Очевидно, иногда спуски озер (в частности, Курайского и Чуйского) в направлении магистральных долин происходили главным образом по внутри- и околледниковым каналам, а также — под ледяными дамбами, т. е. полного уничтожения плотин при систематических сбросах озерных вод при таком механизме опорожнения могло и не происходить. Именно таким образом, например, было спущено в сентябре 1982 г. оз. Стрэндлайн на Аляске объемом в $7 \times 10^8 \text{ м}^3$. После спуска озера, по расчетам американских гляциологов, каналы стока оставались открытыми около года, после чего вновь закрылись. Подобным образом

опорожнялось оз. Абдукагорское на Памире. После его прорывов, в частности, непосредственно ниже озера сохранились фрагменты морен подпруживавшего озера ледника Медвежий и фронтальные морены ниже расположенного ледника Географического общества. Зато еще ниже по течению Ванча долина на большом протяжении оказалась полностью вычищенной гляциальными паводками.

Первые определения расходов йокульлаупов оз. Миссула для различных участков Бретц и Парди производили по известным в гидрологии формулам Шези и Маннинга. Полученные результаты были грандиозны — от 2 до 10 млн. $\text{м}^3/\text{с}$ и даже больше. Тем не менее неопределенность коэффициента шероховатости в этих формулах приводила к значительным неточностям расчетов. В Бейкер на основании статистического анализа большого количества натуральных данных вывел эмпирические зависимости между размерами гряд и глубиной и скоростью суперрек, в руслах которых формировались знаки



«Высокие террасы» Яломанской впадины. Вдали — долина Катунки.

ряби. Определенный им диапазон условий, в пределах которых справедливы эти зависимости, оказался подходящим для оценки скоростей и расходов алтайских йокульлаупов. Так, для участка Платово в предгорьях Алтая были получены скорости потока — 14 м/с, глубины — около 40 м и расходы воды с учетом современной морфологии долины — не менее 560 тыс. м³/с. Участок Платово находится почти в 300 км от возможных мест прорыва. Здесь, в предгорьях, поток распылялся. В горах скорости и глубины суперрек были гораздо больше. На участке Малый Яломан — Иня, согласно зависимостям Бейкера, глубины потока были более 400 м, а скорости — около 30 м/с. Расходы воды составляли, соответственно, более 1 млн. м³/с.

Анализируя рельеф гигантской ряби в Курайской котловине, нельзя не заметить, что глубины потока над полем ряби были

гораздо больше, чем предполагают расчеты Бейкера. Курайская рябь встречается на отметках 1540—1600 м, в то время как уровень Курайского озера достигал по крайней мере 2100 м. Правда, момент формирования ряби совсем необязательно совпадал со временем окончательного заполнения водоема.

По материалам российско-американской экспедиции 1991 г. были вычислены расходы прорывных потоков из Чуйско-Курайской системы ледниково-подпрудных озер на участке Курай — Чибит⁸. Они основаны на решении одномерного энергетического уравнения, выведенного из уравнения Бернулли для устойчивого, постепенно меняющегося течения. Вычисленный максимальный расход воды для Чуйско-Курайского йокульлаупа составил 18×10^6 м³/с. Эта оценка превышает максимальный расход диллювиального потока из оз. Миссула, который ранее считался самым крупным паводком на Земле.

⁸ Baker V. R., Benito G., Rudoy A. N. // Science. 1993. V. 259. P. 348—352.



Перспективная фотография гигантских знаков ряби, показанных на аэрофотоснимке.

Наличие потоков с такими расходами, предполагающими катастрофический прорыв, разламывание ледниковых плотин не препятствуют сценарию множественных прорывов с расходами порядка 1 млн. м³/с и связанных с повторяющимися заполнениями и опорожнениями ледниково-подпрудных озер. Более того, такие регулярно повторяющиеся, «заурядные», потоки, которые все же также были очень велики, могли оказывать на земную поверхность и климат более сильное влияние благодаря уже не столько своей мощности, сколько периодичности, чем супермощные, феноменальные, но единичные прорывы.

Строение скейбленда показывает, что катастрофические гляциальные суперпотоки совершали огромную геологическую работу в поразительно короткие сроки. Для прохождения всего объема воды из Чуйско-Курайских озер через участок Курай—Чибит потребовалось, принимая во внимание приведенные выше цифры расхода, всего около 10 мин.

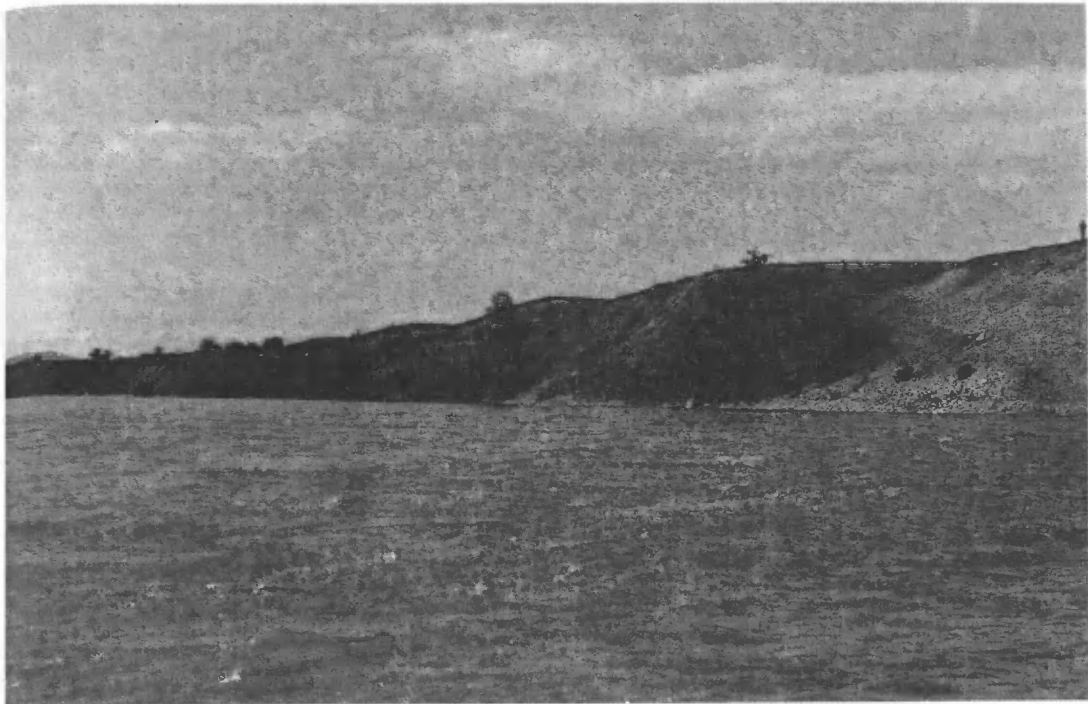
Согласно расчетам, гидравлические параметры максимальных течений пра-Чуи и других гляциальных четвертичных суперпотоков Алтая превышают самые большие зна-

чения, известные ранее⁹. При кульминациях йокульлаупов глубины паводков превышали 400 м, скорости варьировали от 20 до 45 м/с. Напряжения сдвига ложа составляли от 5 тыс. до 20 тыс. Н/м², а мощность потока на единицу площади равнялась от 10⁵ до 10⁶ Вт/м². В лаборатории палеогидрологического и гидроклиматического анализа Аризонского университета было установлено, что для формирования главных черт рельефа изрезанных земель Колумбийского плато при расходе прорывного паводка из оз. Миссула в 17×10^6 м³/с потребовалось не более 3 час. Для совершения адекватной работы такой реке, как Миссисипи в ее половодном режиме, потребовалось бы по крайней мере 30 тыс. лет. Сравнение энергии четвертичных гляциальных паводков Центральной Азии с потенциальной работой, например, Оби дадут результаты никак не менее впечатляющие. Это были самые крупные известные потоки пресной воды на Земле.

КОГДА ВСЕ ЭТО МОГЛО ПРОИСХОДИТЬ?

Теоретические рассуждения в общем таковы. При понижении границы питания лед-

⁹ Rudoy A. N., Baker V. R. // *Sedimentary Geology*. 1993. V. 85. P. 53—62.



Рельеф гигантских знаков ряби в поперечном сечении на берегу Катуня. Снимок сделан из воды.

ников площади аккумуляции будут расти. Одновременно или с некоторым запаздыванием будет увеличиваться и общая площадь оледенения, а значит, и величина талого стока в ее абсолютном выражении. В ледниковые же эпохи, при значительных депрессиях границы питания в отрезки времени порядка стадий и выше существенно вырастали и расходные части ледников относительно исходных или современных, а талый сток опять-таки существенно увеличивался относительно современного или исходного. Отсюда следует, что межгорные котловины, имеющие по одному узкому и глубокому каналу стока, в ответ на ледниковое подпруживание немедленно отвечали концентрацией талых вод в котловинах.

Исходя из этой теоретической посылки, устанавливающей причинно-следственную связь между трансгрессиями ледников и озер, мы вправе синхронизировать рост и деградацию тех и других на основных этапах их эволюции. Из этих соображений можно оценивать возраст и длительность существования ледниково-подпрудных озер. В горах южной Сибири в среднем и позднем плейстоцене они составляли не менее 100 и 50 тыс. лет соответственно (озерно-ледниковые макроритмы). Поэтому лед-

никовые озера в горах существовали всегда, когда оледенение становилось достаточно большим, чтобы блокировать межгорные впадины.

Максимальные трансгрессии озер, т. е. максимальные запасы талых вод, по времени совпадали с максимумами оледенений. Однако именно в это время ледниковые плотины были настолько мощными, что маловероятно, чтобы озера прорывались с той околоречевой периодичностью, о которой я говорил выше. Регулярные сбросы воды из озерных бассейнов должны были происходить на начальных и конечных стадиях оледенения, когда ледяные дамбы были неустойчивы. Кроме этого, при кульминации четвертичных оледенений депрессия снеговой линии, составлявшая более 1000 м относительно современной, вызывала консервацию озер, которые превращались в «наледные» ледоемы. В эти временные интервалы озера, погребенные под озерными и глетчерными льдами, а также под снежно-фирновой толщей, тысячелетиями не вскрывались и не прорывались вообще.

Реконструкция размеров Курайского и Чуйского ледниково-подпрудных озер проводилась преимущественно по сохранившимся озерным террасам. Очевидно, что эти линии не могут фиксировать самые большие запасы воды в котловинах, потому что максимальные объемы талых вод были

синхронны максимальным размерам ледников, и на этих этапах в береговой полосе разрушались преимущественно ледники подножий и «шельфовые» ледники из питающих котловины долин. Это были озера в ледяных «ваннах», почти не оставившие материальных следов, потому что стенки этих «ванн» в процессе деградации оледенения растаяли.

С такой же мерой достоверности мы можем рассуждать и о количестве «супер-прорывов» Чуйско-Курайской озерной системы, имевших расходы более 10 млн. м³/с. Такие максимальные расходы рассчитывались для случая, когда озера сбрасывали весь объем воды. Материалы по современным прорывам приледниковых озер показывают, что их полное опорожнение происходит значительно реже, чем сбросы части воды при самых различных механизмах деформации ледяных дамб. Поэтому наиболее вероятным для обсуждения представляется предложенный мной выше сценарий редких, единичных (может быть даже — единичного!) феноменальных йокульлаупов с расходами более 10 млн. м³/с на фоне систематических, с околотовых периодом, прорывов ледниково-подпрудных озер с расходами менее 1 млн. м³/с. Понятно, что граница пока достаточно условна.

Дилювиальные процессы были синхронными с начальными и конечными стадиями оледенений, но строение скейбленда, которое мы сегодня наблюдаем, обусловлено все же работой последних суперпотоков из последних ледниково-подпрудных озер, прорвавшихся во время деградации последнего оледенения.

Сейчас имеется несколько радиоуглеродных датировок из различных районов Алтая от предгорьев до высокогорных котловин, которые показывают, что последний феноменальный катастрофический прорыв Чуйско-Курайской системы ледниково-подпрудных озер, оставивший, в частности, гигантскую рябь в Яломанской и Курайской впадинах, а также на участке Платово, произошел не позднее 13 тыс. лет назад. После этой геологической даты озера деградировали одновременно с питающими их ледниками. Это не исключает, конечно, их катастрофических прорывов, но гидравлика этих прорывов была, вероятно, не такой грандиозной. Более уверенно сейчас можно утверждать, что окончательное исчезновение ледниково-подпрудных озер произошло позднее 5 тыс. лет назад, когда бывшие обширными водоемы распались на ряд небольших озер, реликты которых сохранились и поныне.

В настоящем человечество живет в одно из межледниковий плейстоценового ледникового периода¹⁰. Очевидно, что очередное глобальное похолодание вызовет появление ледниково-подпрудных озер там, где сейчас имеются их следы. При этом чрезвычайно активизируется дилювиальный процесс. Это неизбежно и в случае, если оправдаются некоторые прогнозы о похолодании климата в начале — середине следующего века. В связи с интенсивным ростом населения и большими темпами освоения горных территорий геозкологическое значение изучения режима ледниково-подпрудных озер, особенно на стадиях спуска, возрастает.

Специалисты-экологи и предствители так называемых неформальных общественных групп привлекают наши материалы о прорывах грандиозных горных озер, чтобы найти в них аналогии с последствиями возможных сейсмических деформаций крупных гидротехнических сооружений на горных реках. Но кардинальные трансформации природной среды на огромных площадях, которые нами уже неплохо изучены на примере плейстоценовых гляциальных паводков, пока не поражают воображение тех, от кого зависит решение вопросов строительства. Даже неоднократно не прошедший экологическую экспертизу проект строительства Катунской ГЭС на Алтае, судя по состоянию дел, будет воплощен в жизнь.

Новой страницей в истории изучения скейбленда является открытие дилювиальных форм на Марсе¹¹. Марсианские каналы гораздо крупнее земных, проходившие по ним потоки могли иметь расходы до 10⁹ м³/с, вероятно, оказывая огромное влияние не только на рельеф, но и на климат.

Дилювиальный рельефообразующий процесс, таким образом, является самым мощным плейстоценовым экзогенным процессом. Генерированные оледенениями, дилювиальные процессы трансформировали ледниковые и приледниковые территории многих районов Земли и других планет, создавая характерные ландшафты равнинных и горных скейблендов.

¹⁰ Котляков В. М., Гросвальд М. Г., Кренке А. Н. Климат Земли: прошлое, настоящее и будущее. М., 1985.

¹¹ Robinson M. S., Tanaka K. L. // Geology. 1990. V. 18. P. 902—903.

Скифский сладкий корень

А. И. Гладышев,
доктор биологических наук
Институт ботаники АН Туркменистана
Ашхабад

С ОЛОДКУ, или лакричник, лакрицу — растение из рода *Glycyrrhiza* — многие знают с детства по характерному приторно-сладкому вкусу лекарства, которое назначают от кашля. *Glycyrrhiza* в переводе с греческого — сладкий корень, в Китае это растение называют «ганьцао» — сладкая трава, в Индии — «мадука», в переводе с санскрита — сладкое. У Феофраста солодка упоминается как «скифский сладкий корень гликея».

Сладкий вкус корням солодки придает глицирризиновая кислота — основное биологически активное соединение растения. В химическом отношении эта кислота является гликозидом, несахарный компонент (аглюкон) которого представлен глицирретовой кислотой, а сахаристая часть состоит из двух молекул глюкуроновой кислоты. Содержание сырой глицирризиновой кислоты в подземных органах солодки колеблется от 3 до 20 %, по сладости она в 50 раз превосходит сахар и сохраняет сладкий вкус даже в разведении 1:20 000.

Растения рода *Glycyrrhiza* (семейства бобовых) широко распространены по всему земному шару. Они встречаются в Средней и Центральной Азии, Южной Европе, Северной и Южной Америке, Северной Африке, Австралии. В мировой флоре насчитывается 15 видов солодки, на территории СНГ — 7 видов. Однако в качестве лекарственно-технического сырья используются корни только двух видов солодки: голой (*G. glabra*) и уральской (*G. uralensis*), причем последняя заготавливается лишь местным населением в небольшом количестве для повседневных нужд. Здесь пойдет речь о солодке голой — основном промышленно важном виде.



Гигантский корень солодки, обнаруженный в 1988 г. в пойме Амударьи.

Здесь и далее фото автора

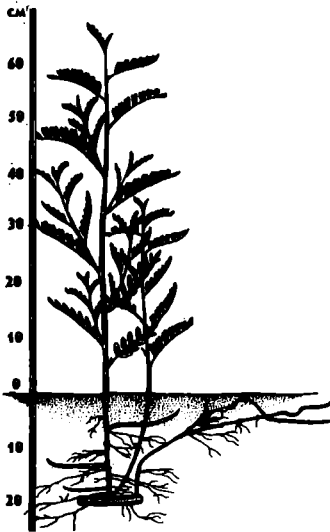
Солодка голая — многолетнее травянистое растение высотой до 100—150 см. Она формирует подземные органы, представленные главным (материнским) и придаточными корнями, а также горизонтальными и вертикальными ответвлениями, образующими сложную, многоярусную систему. Умение правильно выкопать корневую

систему солодки всегда считалось искусством.

Ареал солодки голой охватывает Крым, Кавказ, Среднюю Азию, Казахстан, юг Европейской части России, а также страны Южной Европы, Передней и Центральной Азии. Растет она в самых разнообразных местах: в поймах и долинах рек, на равнинных пространствах междуречий; реже — на сухих склонах гор среднего пояса (до 1600—2000 м над ур. м.); среди степной, полупустынной, луговой растительности.

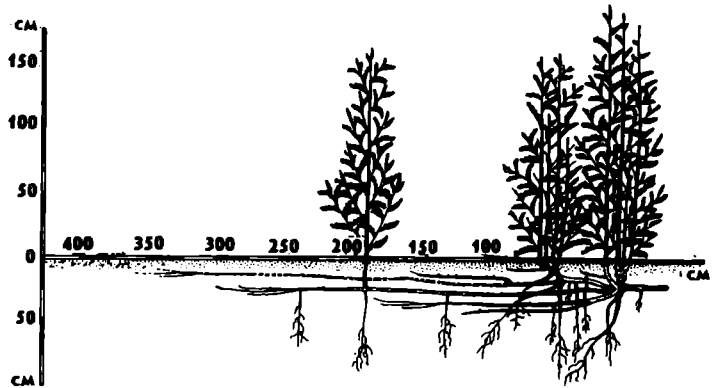
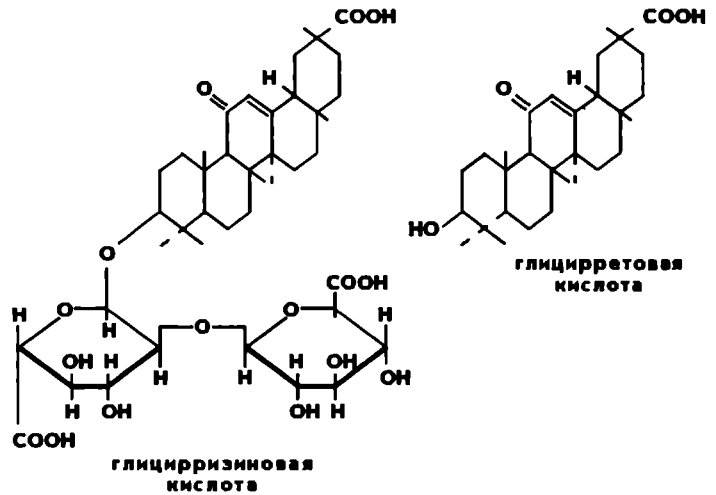
Химический состав корня солодки сложен, в него входят [в %]:

Экстрактивные вещества	22.8—44.1
Глицирризиновая кислота (чистая)	3.6—11.8
Глюкоза	0.6—15.2
Сахароза	0.3—11.0
Клетчатка	9.7—28.2
Крахмал	до 34.0
Аскорбиновая кислота	11.0—31.2
Флавоноиды	3.0—4.0
Стероиды	1.5—2.0
Эфирное масло	0.03
Аспарагин	1.0—4.0
Жироподобные вещества	0.2—4.7
Смолистые вещества	1.6—4.1
Белковые вещества	6.2—10.1
Камеди	1.5—6.5
Горечь, нерастворимая в воде	3.0—3.6
Горечь, растворимая в воде	1.8—4.0



Солодка, выращенная в культуре на первом (слева) и втором годах жизни.

Чем же так ценится солодка? Спектр ее применения очень широк, с древности известны ее целебные свойства. Солодковый корень применялся в китайской медицине еще в III тысячелетии до н. э., он был популярен в индийской и тибетской медицине, в странах Передней Азии и Средиземноморья. В странах Восточной Азии солод-



ку и сейчас включают в состав многих лекарственных препаратов.

До недавнего времени в Европе солодковый корень использовался ограниченно (главным образом в педиатрии), и только после того, как было установлено, что экстракт солодкового корня, подобно дезокси-кортикостерону (гормон, вырабатываемый корой надпочечников), участвует в регуляции водно-солевого обмена в организме¹, его стали применять при лечении болезни Аддисона (эндо-

кринное заболевание, обусловленное недостаточностью функции коры надпочечников), незапущенной язвы желудка, при хронических гастритах. Глицирретовая кислота, как и кортизон, обладает мощной противовоспалительной активностью, но в отличие от него препараты, содержащие глицирретовую кислоту, или глицирризин, не влияют на систему гипофиз — кора надпочечников, сердечно-сосудистую систему и вегетативную нервную систему, гладкую мускулатуру и к тому же малотоксичны. Подобно гидрокортизону, глицирретовая кислота способствует рассасыванию опухолей, вызванных у подопыт-

¹ Revers F. E. Properties of Succus Liquiritiae // Ned. Tijdschr. 1951. V. 95. N 1. P. 120—124.

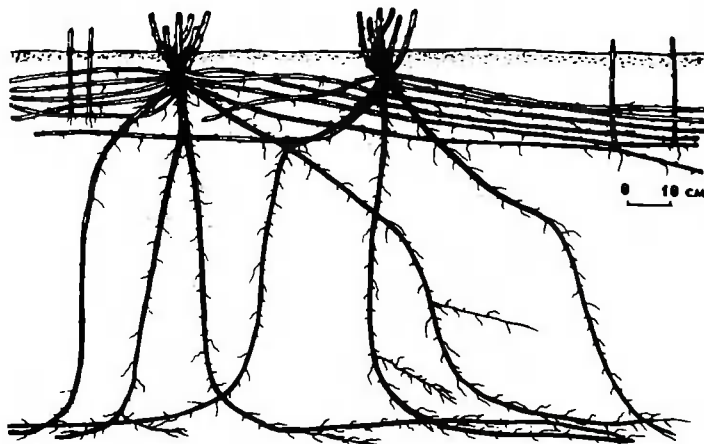
ных крыс инъекцией 3 %-ного раствора формалина². Мазями, содержащими 2 %-ную глицирретовую кислоту, лечат дерматиты и сухие экземы. Предложены сложные сочетания, обладающие антиаллергическим, противовоспалительным и бактерицидным свойствами, содержащие в качестве активного компонента глицирретовую кислоту или ее производные. Заслуживают внимания препараты на основе глицирретовой кислоты, которые показали определенную активность при лечении ревматических заболеваний. Получены продукты конденсации ацетилглицирретовой кислоты с аминокислотами, которые активны при лечении астении.

И вот совершенно свежая новость: группа исследователей во главе с Т. Окуда (фармакологический факультет Университета г. Окаяма, Япония) из корней солодки выделила вещества, подавляющие размножение вируса иммунодефицита человека. Ученые полагают, что в солодке содержится еще неизвестные науке биологически активные вещества³.

Помимо медицины, корень солодки широко применяется в различных отраслях промышленности. Например, в странах СНГ его используют более чем в 20 отраслях народного хозяйства: пищевой (в производстве кондитерских изделий, высших сортов пива, кваса и шипучих вод, таких как «Байкал», «Фирюза»), табачной промышленности и др. Пенообразующая способность солодкового корня широко используется в химической промышленности и цветной металлургии.

Солодковое сено поедают все сельскохозяйственные животные. Собранное в фазе плодоношения, оно по питательности близко к злаковому селу, а отава приближается по кормовой ценности к селу клевера и люцерны.

Надземная масса солодки голый тоже достаточно богата



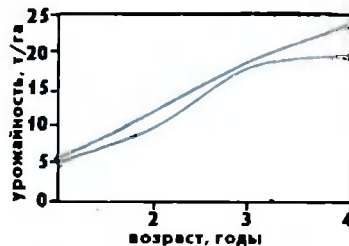
180 см грунтовые воды

Корневая система двухлетней солодки, выращенной в культуре.

биологически активными веществами (в абсолютно сухом сырье, %):

Азотистые основания	0.77
Дубильные вещества группы пирокатехина	5.50
Сапонины	8.00
стероидные	—
тритерпеновые	8.00
Флавоны	2.00
Эфирное масло	0.02
Сахара	2.13
моносахариды	0.88
дисахариды	1.25
Жиры	6.20
Органические кислоты в том числе аскорбиновая	2.50
Каротин	15.00
Хлорофилл	1.00

Солодковый корень всегда служил предметом традиционного и устойчивого экспорта бывшего СССР. Крупным импортером солодкового корня были США. На солодковом сырье работают многие предприятия Западной Европы и Японии. В некоторых странах созданы отрасли по промышленной переработке солодкового корня и выделению из его экстракта глицирризиновой, глицирретовой кислот и их производных, а также производству флавоноидных и других препаратов. Традиционное применение солодкового корня за рубежом — соусирование табаков, приготовление жевательных резинок и извест-



Урожайность корня солодки при вегетативном (цвет) и семенном размножении.

ного напитка «Кока-кола». Промышленная переработка солодкового корня в СНГ пока ограничена (только 15—20 % сырья используется внутри этих стран) и сводится к производству технического и медицинского экстрактов, резаного корня и порошка для медицинских и технических целей, а также ряда отечественных препаратов (глицирам, ликвиритон, флакарбин, настойки). В последние годы исследование солодки значительно расширилось, причем изучаются все виды растения.

В 1964 г. в Ботаническом институте им. В. Л. Комарова АН СССР (Ленинград) состоялась первое совещание по изучению и использованию солодки в народном хозяйстве СССР, сыгравшее мобилизующую роль в разностороннем и углубленном ее исследовании. Последний, четвертый симпозиум по солодке состоялся в 1991 г. в Алма-Ате. Материалы четырех симпозиумов вообрави в себя но-

² Lauria F. Esteri pacici degli acidi α - β -glucurrhethinico // Farmaco and Pr. 1961. V. 16. N 1. P. 17—22.

³ Искра-Информация. 1988. № 37. С. 7.



Дикие заросли солодки голой в пойме Амударьи.

вейшую информацию по вопросам систематики, морфологии, биологии, географии, фитоценологии, экологии, химическому составу, фармакологии солодки, улучшению ее природных зарослей и введения в культуру¹.

Интересна и поучительна сама история возникновения и развития солодкового производства в бывшем СССР. Солодковый промысел зародился в 80-х годах прошлого столетия в Азербайджане.

Богатейшие заросли солодки в долинах Куры и Аракса позволили английским и американским предпринимателям построить здесь ряд прессовальных заводов и заготавливать в отдельные годы до 3 млн. пудов

сырого солодкового корня. Примерно в это время в Дагестане и Краснодарском крае природные солодковые заросли стали распахиваться для повышения их плотности. В 1895 г. солодковый промысел зарождается в Уральской области и прилегающих к ней районах западного Казахстана. Однако наиболее стабильным районом заготовок солодкового корня была долина Амударьи. Начала промышленную заготовку корня здесь англо-американская фирма «Мак-Андриус» в 1906 г. В первое время сбор сырья проводился в основном в окрестностях г. Чарджоу, где был построен довольно мощный прессовальный завод. Постепенно район промысла расширился и к концу 60-х годов нынешнего столетия охватил всю долину Амударьи от Вахша до Нукуса. Исключительно благоприятные климатические и гидрологические условия благоприятствовали мощному разви-

тию зарослей солодки на большой площади, средняя урожайность корневой массы в 25—30 т/га считалась обычной нормой. Даже в наше время при распашке солодковых зарослей изредка попадаются корни солодки, размеры которых поражают даже искусственных ботаников. В урочище «Лавак» (Ташаузская область Туркменистана) в 1966 г. был найден корень с диаметром у корневой шейки 32 см. А весной 1988 г. мы стали свидетелями уникальной находки: под Чарджоу обнаружен корень-гигант (диаметр 40 см, вес 85 кг, возраст 58—60 лет).

Солодковый корень, собранный в долине Амударьи, отличается хорошим качеством и высоко ценится на мировом рынке. С 1910 по 1915 г. здесь было заготовлено и вывезено 56 500 т сырья. Заготовки велись круглогодично. Хотя часть сырья погибала от морозов, добыча его в зимний период не приостанав-

¹ Вопросы изучения и использования солодки в СССР. М.—Л., 1966.



Плانتации солодки на песках среднеамударьинского оазиса.

Солодковый корень перед прессовкой.

ливалась, так как потери целиком компенсировались его высокой ценой. Это был тяжелый и напряженный труд, ведь в то время копали корень исключительно вручную, кетменем — орудием, заменяющим в Средней Азии лопату.

В 1950—1952 гг. происходят коренные изменения: механизмируются многие процессы заготовки, транспортировки и прессовки корня, создаются новые предприятия по его переработке. Несмотря на многолетнее промышленное использование природных зарослей, долина Амударьи остается основным районом заготовки солодкового



корня⁵. Здесь выросло несколько поколений мастеров — добытчиков «солнечного корня» и солодковый промысел превратился в высокорентабельное, многоотраслевое хозяйство. В последние годы существования СССР солодковое производство было сосредоточено во Всесоюзном производственном объединении «Союзлакрица» Госагропрома СССР в Чарджоу и имело филиалы в Туркменистане, Узбекистане (Каракалпакия), Казахстане и Таджикистане. Основные задачи объединения заключались в оценке на основе научных данных промышленных запасов солодкового корня, организации его заготовки и переработки, обеспечении выпуска высококачественной продукции и ее поставки на внутренний и внешний рынок. Объединение «Союзлакрица» осуществляло координацию научных исследований по солодковой проблеме, создало научно-исследовательскую опытную станцию по изучению введения солодки в культуру. За объединением в долгосрочное пользование было закреплено около 14 тыс. га пойменных земель для организации лакрично-кормовых хозяйств и ведения солодкового производства. В г. Уральске был построен завод по производству экстрактов с безотходной технологией, в Чарджоу — прессовальный завод. Учитывая, что потребности в солодковом корне ежегодно возрастали и достигли в конце 70-х годов 110 тыс. т (при заготовках 20—22 тыс. т), было принято решение о создании трех солодковых совхозов (в Узбекистане, Туркменистане и Казахстане с общей годовой мощностью 70 тыс. т корня-сырца) и строительстве четырех прессовальных и четырех экстрактовых заводов.

Рекордное количество солодкового корня за всю историю существования отрасли было заготовлено в 1962 г. и составило 30 724 т. Через 10 лет объем заготовок сократился до 19 177 т. Интенсивная эксплуатация дикорастущих солодковых зарослей ради достижения пла-

новых заготовок корня и несоблюдение сроков восстановления зарослей привели к резкому снижению урожайности корневой массы растения до 4—6 т/га и сокращению площадей естественных зарослей солодки (в Средней Азии и западном Казахстане они уменьшились более чем в два раза). Кроме того, естественная сырьевая база солодки была подорвана изменением речного стока, связанного с развитием ирригации. Особенно сильно пострадали солодовые угодья в пойме Сырдарьи и низовьях Амударьи. Естественно встал вопрос — как быть дальше?

Солодковая проблема стала объектом глубоких научных исследований. В итоге для всех географических районов, связанных с заготовкой солодкового корня, были разработаны и внедряются в производство научно обоснованные подходы рационального использования дикорастущих зарослей солодки и введения растения в промышленную культуру. Комплекс агротехнических мероприятий способствует созданию устойчивых чистых зарослей солодки, повышению урожайности и качества корня. Многочисленные эксперименты, производственные испытания и расчеты показали, что выращивать солодку в культуре экономически целесообразнее, чем эксплуатировать естественные заросли⁶.

Культура солодки основывается на способности ее вегетативных подземных органов к активной регенерации всего растения. Хорошо размножается солодка и семенами. В том и другом случае при правильно организованном уходе растение через четыре-пять лет накапливает до 30 т/га корневой массы. Это в несколько раз выше продуктивности ее природных зарослей. Однако экономически целесообразнее было бы закладывать плантации солодки посевом семян. Сеянцы растения лишь на первом году развития требуют тщательного ухода, который в специализированном хозяйстве проблемы не составит.

Интересно, что ботаники долгое время не могли обнаружить семенного размножения солодки в природе. Впервые всходы и разновозрастные растения солодки были обнаружены и описаны в пойме Амударьи сравнительно недавно⁷.

В Средней Азии накоплен опыт промышленного освоения под культуру солодки приовзисных песков и земель вторичного засоления. На приовзисных песках солодка образует сомкнутый травостой на втором году жизни. Мощная корневая система надежно закрепляет песчаный субстрат и полностью исключает дефляционные и эрозийные процессы. По качеству сырья, урожайности надземной и подземной массы солодки, выращенная на песчаных субстратах в условиях полива, не уступает растениям естественных мест обитания.

Ботаники Узбекистана первыми установили мелиоративный эффект солодки и разработали агротехнические приемы ее возделывания на засоленных землях. Ими разрабатываются научные основы использования солодки в новом качестве — культуры — орошителя засоленных земель⁸.

Высокая экономическая эффективность искусственного выращивания солодкового сырья способствует стремительному увеличению занятых ею площадей, а это, в свою очередь, обеспечит сохранение и восстановление плотности этого вида внутри ареала в Средней Азии.

⁷ Кербабаяев Б. Б. // Тр. Ин-та биологии АН ТССР. Сер. бот. 1954. Т. 1. С. 22—74.

⁸ Нигматий С. Х. Научные основы комплексного использования солодки на засоленных землях // Матер. симп. Изучение и использование солодки в народном хозяйстве СССР. Алма-Ата, 1991. С. 8—11.

⁵ Кербабаяев Б. Б., Гладышев А. И. Туркменский лакричный корень. Ашхабад, 1971.

⁶ Кербабаяев Б. Б., Гладышев А. И., Кельджаяев П. Ш., Геюшова Т. М. Культура солодки в Туркменистане. Ашхабад, 1989.

Эволюция полета насекомых

Д. Л. Гродницкий



Дмитрий Львович Гродницкий, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник сектора зоологии Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН. Научные интересы связаны с изучением строения крыльев и полета насекомых, а также с общей теорией эволюции.

ПОЛЕТ НАСЕКОМЫХ гораздо многообразнее, чем других летающих животных. Среди них есть формы, летающие с помощью двух крыльев, как птицы и рукокрылые. Есть и такие, что имеют четыре крыла, причем у одних крылья попарно соединены в две машущие поверхности (функционально двухкрылые), а другие совершают раздельные взмахи (функционально четырехкрылые). Последний тип полета также имеет две разновидности: у одной в течение взмаха впереди постоянно идут передние крылья, у другой лидируют задние.

Как и почему эволюция создала столько способов летать? Ответить на этот вопрос можно, используя метод пылевой визуализации, позволяющий увидеть вихреобразование за летящими существами, обладающими

различной конструкцией крылового аппарата — данные с позволения сказать, сравнительной аэродинамики полета насекомых¹.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАШУЩЕГО ПОЛЕТА

Полет животных отличается от полета созданных человеком механических аппаратов главным образом характером вихревого следа, образующегося в воздухе за летящим объектом. Подъемная сила самолетного крыла, как показал еще в начале века Н. Е. Жуковский, связана с циркуляцией скорости вокруг несимметричного профиля крыла. За крылом самолета после начала движения появляется разгонная вихревая трубка, замкнутая своими концами на вершины крыла (рис. 1, а). Через некоторое время она отделяется и остается на месте, так что в течение полета лишь два вихревых жгута отходят от вершин (рис. 1, б). Во время торможения и остановки формируется тормозная трубка (рис. 1, в). В итоге за все время от взлета до посадки крыло самолета генерирует как бы одно вихревое кольцо, бесконечно растянутое в длину. Подъемная сила полностью создается за счет так называемого присоединенного вихря (циркуляции) — меры разности скоростей ветра над и под крылом, которая возникает при формировании разгонного вихря; можно считать, что она остается вокруг крыла в течение полета и сходит с него в виде тормозной трубки при посадке.

Во время полета насекомых (для простоты начнем с двухкрылых) в начале каждого взмаха за каждым крылом появляется по одной разгонной трубке (рис. 1, г). Через некоторое время левая и правая трубки сливаются, образуя единую подковообразную структуру, аналогичную разгонной трубке за крылом самолета (рис. 1, д). В нижней части траектории, перед тем как приступить к возвратному движению, крылья тормозятся и разворачиваются, в результате чего с них

¹ Grodnitsky D. L., Morozov P. P. // J. Exp. Biol. 1992. V. 169. P. 143—163; Grodnitsky D. L., Morozov P. P. // Ibid. 1993. V. 182. P. 11—40.



сходит тормозная трубка, которая совместно с разгонной составляет вихревое кольцо. Во время маха вверх новые трубки не образуются. Поскольку в следующем взмахе формируется новое кольцо, то вихревой след машущего насекомого состоит из последовательности параллельных колец. Таким образом, с точки зрения вихреобразования один мах вниз у насекомого соответствует всему периоду от старта до приземления самолета.

Принципиальная разница между полетом живых существ и искусственных аппаратов заключается в том, что разгонный вихрь механического крыла остается далеко позади, так что его влиянием можно полностью пренебречь, а разгонный вихрь насекомого многократно обновляется в течение каждой секунды полета. Во время взмаха он постоянно находится около тела и крыльев. Поскольку любой вихрь представляет собой зону низкого давления, то присутствие вихря над крылом неизбежно приводит к появлению дополнительной подъемной силы.

В ходе эволюции насекомые (равно и



Представители разных отрядов насекомых, у которых летательный аппарат устроен и работает по-разному.

Толстоголовка-запятая.

Средний ночной павлиний глаз.

Листоед тополевый.

Клоп коричневый.

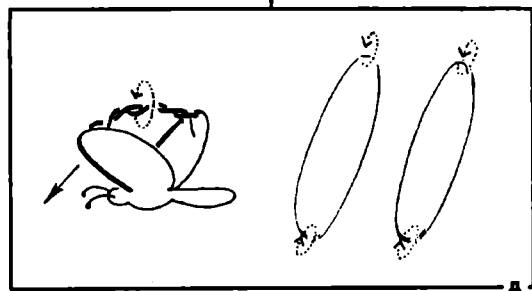
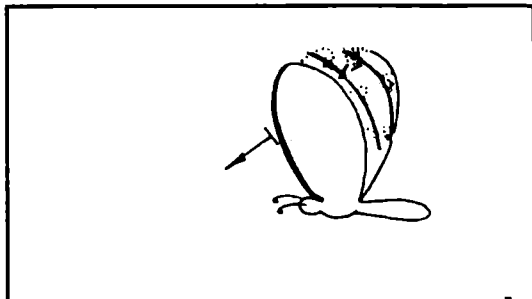
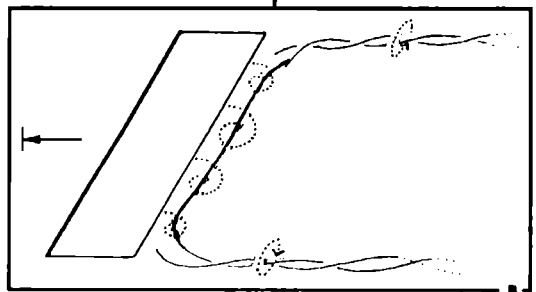
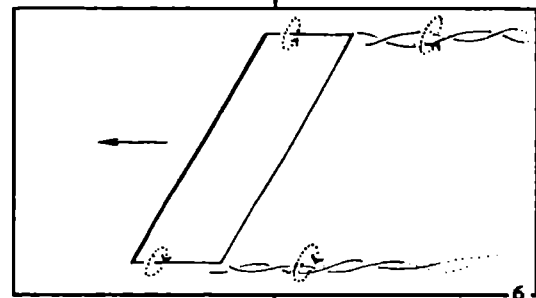
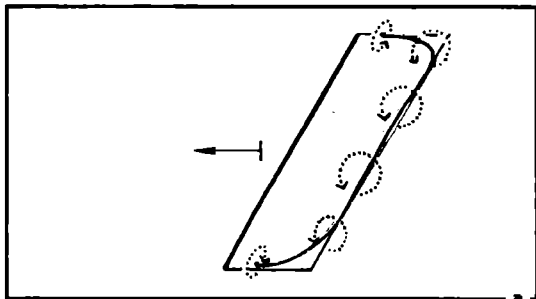


другие летающие и плавающие животные) научились контролировать поступление энергии в вихревой след и извлекать ее обратно из следа, регулируя взаимоотношения между крыльями (плавниками) и порожденными ими вихрями². Эту гипотезу, впервые высказанную более 25 лет назад, можно попытаться конкретизировать на примере насекомых и показать, что основные типы их полета возникли как различные способы оптимизации взаимодействий с ближней частью аэродинамического следа и управления вихревыми структурами.

РАЗНОВИДНОСТИ ВЗМАХА КРЫЛЬЕВ И ВИХРЕОБРАЗОВАНИЕ

По-видимому, наиболее древняя разновидность полета сохранилась у современных насекомых, имеющих четыре несцепленных крыла, причем у тех из них, у которых передние крылья постоянно опережают задние (златоглазка и муравьиные львы, скор-

² Uldrick J. P. // J. Fluid Mech. 1968. V. 32. P. 29—53.

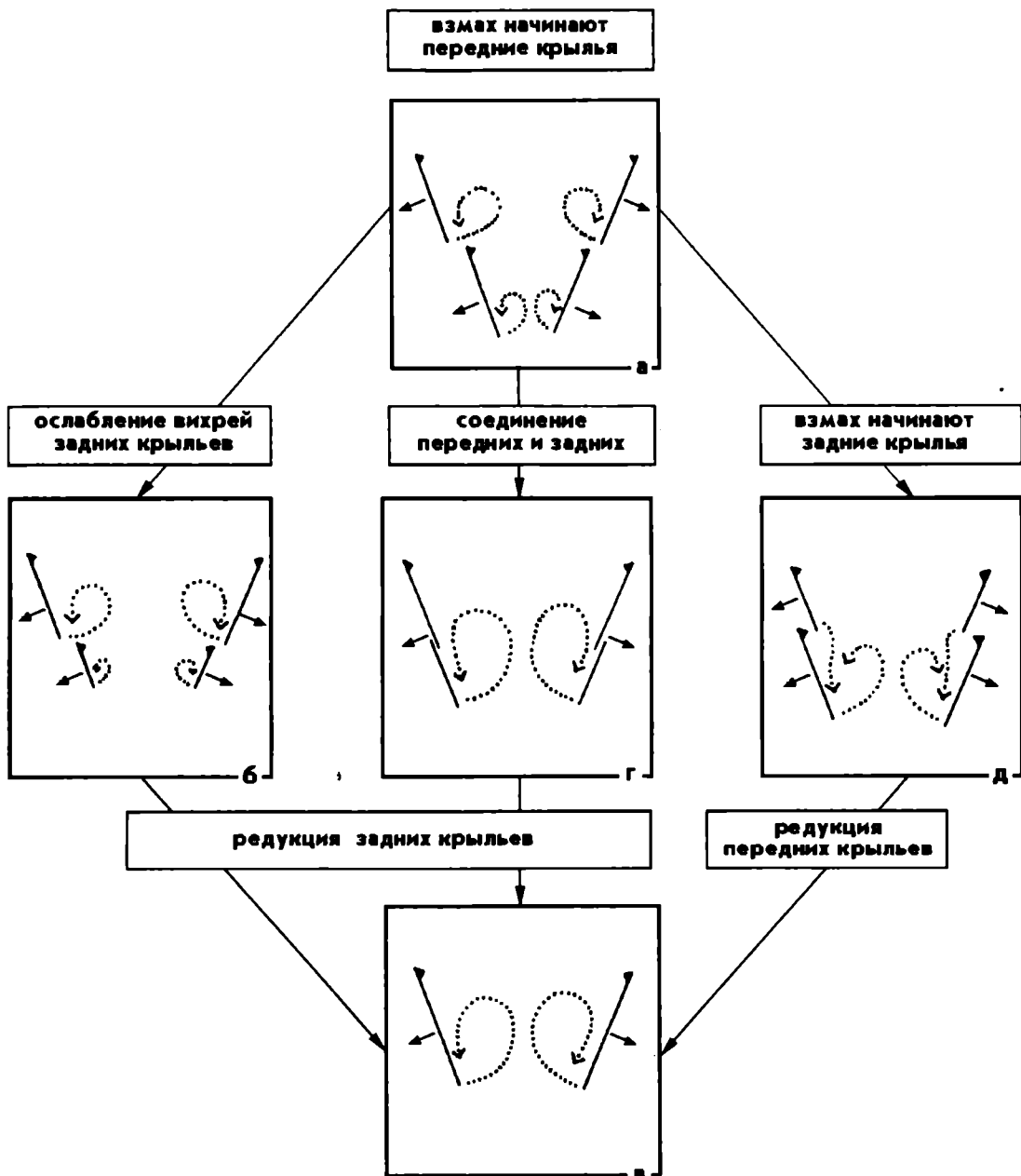


Вихревой след механического крыла (а — в) и машущего насекомого (г — д): а — начало движения; б — полет; в — остановка; г — начало и д — продолжение взмаха с общей схемой дальнейшей части следа. Стрелки а и б показано направление движения крыла, п у и к т и р о м — вихревое течение. Передний край крыла утолщен. Ось симметрии вихревой трубки показана цветом.

пионницы, веснянки, а также самые примитивные ручейники и бабочки). В начале их взмаха за каждым крылом появляется собственная вихревая трубка (рис. 2, а). Расстояние между вихрями передних и задних крыльев очень невелико, а поскольку направление вращения трубок одинаково, то какое-то время они тормозят друг друга. Через продолжительное время трубки сливаются и образуется единое подковообразное полукольцо, однако торможение на старте отрицательно сказывается на дальнейшей циркуляции и следа и, соответственно, на общем балансе сил, создаваемых крыльями. Начальное торможение разгонных вихрей неизбежно замедляет рост полезной аэродинамической силы, препятствуя быстрому развитию циркуляционного обтекания крыльев и уменьшая положительный эффект от при-

сутствия вихрей над насекомыми. Такое состояние, при котором передние и задние крылья по существу служат конкурирующими генераторами вихревого течения, невыгодно. Действительно, ни одна из перечисленных выше групп насекомых не обладает высокоразвитыми полетными качествами: продолжительностью, скоростью, грузоподъемностью или маневренностью.

Эффективность полета можно повысить, сняв противоречия между передними и задними крыльями: если одна пара крыльев преобладает над другой, порождая более интенсивные и поэтому менее чувствительные к торможению вихри или даже полностью подавляя вихреобразование конкурирующей пары. Здесь возможны два варианта: в первом вихри образуются только за передними крыльями, во втором — только



за задними. При этом вначале должно уменьшаться вихреобразование за одной парой, за другой — усиливаться. Ослабить вихрь можно, уменьшив размеры крыла, либо сократив траекторию его движения. Все эти возможности реализовались в ходе эволюции полета насекомых.

Первый способ состоит в усилении взмахов передних крыльев при ослаблении взмахов и сокращении размеров задних

Эволюционные преобразования взмаха крыльев и вихреобразование. а — исходное состояние: имеются четыре крыла, взмах начинает передняя пара; б — частичная редукция размеров и взмахов задних крыльев; в — полная утрата одной пары крыльев; г — соединение передних и задних; д — из двух несцепленных пар крыльев впереди движется задняя. Вид на насекомое сверху. Черный треугольник расположен на верхней стороне переднего края крыльев. Прочие обозначения — как на предыдущем рис.

(рис. 2, б). Так, у ископаемых скорпионниц подотряда *Mesopyschina* в ходе эволюции задние крылья значительно уменьшились. Предполагается, что эта группа дала начало комарам и мухам, у которых крылья превратились в жужжальца³. Так возникло морфологически двукрылое состояние (рис. 2, в), создавшее предпосылки для становления стремительного высокоманевренного мушиного полета. Передние крылья, потеряв необходимость координировать свои движения с задними, получили большую свободу. Это позволило мухам использовать резкие повороты крыльев вокруг их базально-апикальной (продольной) оси, вызывающие сброс с крыла прилежащего слоя воздуха, от чего муха получает толчок вперед и/или вверх⁴.

Второй способ снятия конкуренции между образующимися разгонными трубками — объединение передних и задних крыльев в одну машущую поверхность. Каждая поверхность генерирует одну разгонную трубку, так что циркуляция и вихревое кольцо развиваются без начального торможения (рис. 2, г). Очевидно, что в этом случае величина присоединенного вихря, интенсивность вращения кольца и его вклад в создание полезных сил повышаются на всю продолжительность взмаха.

Эволюция функциональной двукрылости часто связана с уменьшением относительных размеров задних крыльев, причем в ряде случаев они утрачиваются полностью, приводя к морфологической двукрылости (рис. 2, в). Вместе с тем не следует думать, что насекомые со сцепленными крыльями могут легко расстаться с задней парой. Тому есть многочисленные ограничения. Например, осы и пчелы, ухаживающие за своим потомством, постоянно переносят на лету груз — парализованных жертв либо нектар с пыльцой. Значит им необходима способность поднимать в воздух значительную дополнительную массу — она может быть вдвое тяжелее самого летуна⁵. Клопам также нужна высокая подъемная сила, поскольку у них тяжелые защитные покровы. Бабочки утрачивают задние крылья очень редко, так как их машущая поверхность покрыта чешуйками и тяжела. По этой причине чешуекрылым невыгодно увеличивать частоту взмахов, что неизбежно при сокращении площади крыльев; кроме того, у них нет

специальной высокочастотной грудной мускулатуры. Поэтому в типично функционально двукрылых отрядах так редки морфологически двукрылые виды; как правило, они летают мало или не летают совсем.

Третий способ, основанный на переходе функции основного вихреобразователя на задние крылья, наблюдается у жуков, саранчовых, кузнечиков и стрекоз. Их взмах начинается с раскрытия задних крыльев, опережающих передние на несколько миллисекунд, и потому разгонные трубки формируются за ними раньше. Будучи зоной пониженного давления, задние трубки индуцируют поток, препятствующий образованию завихрений за передними крыльями, так что можно ожидать, что при некоторой интенсивности взмахов задней пары из-за создаваемого ею разрежения вихри за передними крыльями не формируются (рис. 2, д). Взмахи с опережающей задней парой эффективнее исходного типа, когда впереди идет передняя: отношение подъемной силы к массе тела падает в 1.5 раза при уменьшении дистанции между крыльями до 0; саранча использует это обстоятельство при регуляции мощности полета⁶.

Эволюция по третьему пути, как и по второму, может приводить к потере одной пары крыльев (теперь уже передней), что точно так же в большинстве случаев связано с частичной или полной утратой способности летать.

Изложенный здесь краткий материал, конечно же, далеко не исчерпывает всей эволюционной проблематики полета насекомых. Фактически рассмотрены лишь два вопроса: что лучше с точки зрения естественного отбора — два крыла или четыре? Как лучше координировать взмахи четырех крыльев? Замечательно, что в эволюции реализовались все априорно мыслимые способы оптимизации работы крыльев, допустимые морфологией и образом жизни. В итоге эволюция функции предстает как чисто адаптивный процесс, чего совсем нельзя сказать об эволюции конструкции крыльев. Но это уже совсем другая проблема...

⁶ Wortmann M., Zarnack W. // J. Exp. Biol. 1993. V. 182. P. 57—69.

³ Историческое развитие класса насекомых // Ред. Б. Б. Родендорф, А. П. Расницын, М., 1980.

⁴ Dickinson M. H., Lehmann F. O., Götze K. G. // J. Exp. Biol. 1993. V. 182. P. 173—189.

⁵ Фабр Ж.-А. Инстинкт и нравы насекомых. СПб., 1914.

ИЗ ИСТОРИИ РОССИЙСКОЙ АРХЕОЛОГИИ

В апреле 1994 г. исполнилось 75 лет со времени организации Российской академии истории материальной культуры, которая после ряда преобразований и переименований ныне существует как Институт археологии РАН. В связи с этой датой предлагаем вниманию читателей несколько публикаций, в которых отражены отдельные моменты из истории института, кратко представлены направления исследований и некоторые из открытий последних лет.

75 лет Институту археологии Российской академии наук

Р. М. Мунчаев,

доктор исторических наук,
директор Института археологии РАН

К. А. Смирнов,

доктор исторических наук,
ученый секретарь Института археологии РАН
Москва

К АРХЕОЛОГИИ в России всегда относились с вниманием и большим интересом.

Начиналась российская археологическая наука в Москве и Санкт-Петербурге: в 1804 г. было организовано Московское общество истории и древностей российских, в круг интересов которого входило изучение археологических находок, главным образом нумизматических и эпиграфических; в Санкт-Петербурге в 1846 г. основали Русское археологическое общество, а с 1859 г. там начинает активно работать Императорская археологическая комиссия; в 1864 г. появляется Московское археологическое общество, которое стало издавать свои труды под названием «Древности».

Развитию археологии в России в огромной мере способствовало создание в Москве

Государственного исторического музея (залы с экспозицией были открыты в 1883 г.). С самого начала музей активно занялся сбором коллекций археологических находок и со временем превратился в одно из лучших в мире хранилищ древностей. Росло число местных краеведческих отделений; по губернским городам учреждались ученые архивные комиссии, занимавшиеся, однако, не одними лишь архивными изысканиями.

Археологические учреждения Москвы и Санкт-Петербурга развернули широкую исследовательскую деятельность, охватившую все основные эпохи отечественной истории — от первобытности до средневековья. Они организовывали и координировали работы экспедиций в ряде районов России, на Украине, в Крыму, на Кавказе, в Средней Азии. Не меньшее внимание уделялось издательской деятельности: «Отчеты» и «Известия» Императорской ар-

хеологической комиссии, «Древности», «Материалы по археологии России» отвечали уровню лучших археологических публикаций Европы. Регулярно созываемые археологические съезды способствовали совершенствованию методов исследований и введению в научный оборот их результатов. Центральные археологические учреждения России сыграли немалую роль в том, что к 1917 г. отечественная археология пришла со значительными достижениями, которые были связаны с именами А. С. Уварова, И. Е. Забелина, Д. Н. Анучина, Ф. И. Буслаева, М. И. Ростовцева, В. А. Городцова, А. А. Спицина, Б. В. Фармаковского и других.

После Октябрьской революции Императорская археологическая комиссия и все археологические общества были распущены. 18 апреля 1919 г. Декретом Совета Народных Комиссаров учреждается Российская академия истории материальной культуры, которая в

© Мунчаев Р. М., Смирнов К. А. 75 лет Институту археологии Российской академии наук.

1926 г. была преобразована в Государственную академию истории материальной культуры, а в 1937 г. вошла в Академию наук СССР как Институт истории материальной культуры. Сначала ИИМК АН СССР находился в Ленинграде, а в Москве работало его отделение, затем, в 1943 г., институт был переведен в Москву, оставив на Дворцовой набережной Невы свое отделение — ЛОИА АН СССР. С 1957 г. ИИМК стал называться Институтом археологии АН СССР, а ЛОИА в 1992 г. получил статус самостоятельного научного учреждения, возродив старое наименование Института истории материальной культуры. Кроме Ленинградского, в академической системе существовал еще один крупный центр археологической науки — Институт истории, филологии и философии Сибирского отделения АН, преобразованный в 1992 г. в Институт археологии и этнографии РАН; его деятельность распространяется на всю Сибирь и Дальний Восток.

Работая в содружестве с коллегами из других регионов, московский институт и по сей день сохраняет некоторые функции ведущего археологического учреждения страны.

Первоначально научно-исследовательская работа Института археологии проводилась в нескольких подразделениях: первобытной археологии (неолит и бронза), скифо-сарматской, античной (классической) и славяно-русской, однако развитие науки потребовало создания целого ряда новых: появились две лаборатории — естественно-научных методов и реставрации; были организованы отделы — палеолита и мезолита; археологических сводов и карт; охранных раскопок; возникли группы — зарубежной, арктической, средневековой археологии евразийских степей, а также физической антропологии; стал работать сектор археологии Москвы. Одно лишь перечисление всех этих подразделений говорит о широте ведущихся в ИА РАН научных исследований.

На Институт археологии возложена важная задача государственного значения: контроль за всеми полевыми архео-

логическими работами на территории России. Созданный для этих целей в структуре института специальный отдел — полевых исследований — выдает разрешения на право проведения археологических раскопок и разведок, так называемые Открытые листы. (До 1993 г. институт выдавал ежегодно не менее 750—800 Открытых листов.) Отчеты о работе проведенных по ним экспедиций тщательно анализируются и после их утверждения передаются в институтский научный архив, который представляет собой уникальное хранилище документальных материалов обо всех археологических работах на территории России начиная с 1945 г. Этот бесценный фонд может, несомненно, рассматриваться как одно из национальных сокровищниц.

До недавнего времени институт проводил ежегодно около 100 археологических экспедиций в разные регионы бывшего Советского Союза: в Поволжье и на Кавказ, в Белоруссию и на Украину, на Урал и в Среднюю Азию, в Сибирь и на Дальний Восток. В итоге были обнаружены многие тысячи разновременных памятников — от каменного века до средневековой — и сделано немало поистине выдающихся открытий.

Кто не слышал, например, о работе Новгородской экспедиции Института археологии и МГУ — о найденных в слоях древнего Новгорода берестяных грамотах? Такие же грамоты позднее были обнаружены при раскопках и в других древнерусских городах — Пскове, Смоленске, Старой Руссе и Москве. Они убедительно доказали широкое распространение грамотности на Руси, и не только в среде монахов и княжеского окружения, но и среди простых горожан.

Поистине сенсационным было в свое время открытие палеолитической живописи в Каповой пещере на Урале. Подобные произведения древнейшего наскального искусства до той поры были известны лишь во Франции и Испании.

Не меньшее значение имело исследование на Клязьме у города Владимира погребений

эпохи верхнего палеолита — уникальных по своей сохранности, сложности обряда захоронения и богатству сопровождающих покойников вещей (поселение Сунгирь, около 25 тыс. лет до н. э.).

Трудно, да попросту невозможно, в рамках одной журнальной статьи полно рассказать о всех достижениях сотрудников института. Многие из этих интересных открытий освещались на страницах «Природы».

Важной стороной деятельности института стала и экспедиционная работа за рубежами нашей страны, прежде всего в тех областях, где происходило сложение древнейших цивилизаций. Речь идет о долине Нила и Северной Месопотамии, Балканах и Центральной Азии, Южной Аравии и Мезоамерике. Экспедициями института в Афганистане, Монголии, Ираке, Сирии, Египте, Болгарии, Венгрии, на Кубе и в других странах получены исключительно ценные материалы для реконструкции культурно-исторического процесса, проходившего в древности на территории Старого и Нового Света. Трудно переоценить, в частности, результаты исследований в Ираке и Сирии Месопотамской экспедиции института для изучения проблемы возникновения производящего хозяйства (земледелия и скотоводства) и формирования древнейшей цивилизации человечества. А с точки зрения разработки проблемы расселения древнейшего человека существенные результаты были получены учеными института на территории Южного Йемена (Аравия). Открытие здесь памятников нижнего палеолита пролило новый свет на самый ранний период человеческой истории, указав на один из возможных путей расселения человека из его африканской прародины. Общеизвестно, что ныне без учета сведений, полученных специалистами нашего института, невозможно решать многие кардинальные вопросы археологии и древнейшей истории Ближнего Востока.

Целенаправленно и систематически изучая разнообразие археологические памят-

ники, коллектив института создал значительную серию обобщающих трудов в виде монографий и коллективных работ. Эти исследования по археологии, древней и средневековой истории и культуре народов России получили широкую известность и признание во всем мире, а целый ряд авторов был удостоен высоких государственных премий.

Уже второе десятилетие сотрудники Института археологии заняты подготовкой 20-томной «Археологии СССР». Это беспрецедентное издание, в котором обобщаются археологические данные, полученные за минувшие 200 лет. Уже вышло в свет 13 томов этого фундаментального труда, среди них: «Палеолит СССР», «Древнейшие государства Кавказа и Средней Азии», «Античные государства Северного Причерноморья», «Степи Евразии в скифо-сарматское время», «Восточные славяне в VI—XIII вв.», «Древняя Русь. Город. Замок. Село», «Финно-угры и балты в эпоху средневековья» и др.

Специалистам разного профиля хорошо известны изда-

ния института: «Материалы и исследования по археологии СССР» (вышло более 150 выпусков), «Краткие сообщения Института археологии о докладах и полевых исследованиях» (опубликовано 210 выпусков), «Свод археологических источников» (около 70 выпусков), «Нумизматика и эпиграфика» (15 выпусков), ежегодник «Археологические открытия» (издававшийся с 1965 по 1986 г.; в настоящее время издание возобновляется) и «Советская археология», на базе которого в 1957 г. начал публиковаться ежеквартальный журнал под тем же названием, переименованный в 1992 г. в «Российскую археологию».

В институте ведется подготовка высококвалифицированных кадров для Российской академии наук, высших учебных заведений и музеев России, а также для других стран.

Самое активное участие принимает институт в деятельности основных международных археологических учреждений (Международный союз пра- и протоисторических наук, Международная уния славянской археологии и т. д.).

Ныне в Институте археологии РАН работает свыше 180 специалистов (в том числе 51 доктор и 75 кандидатов) по всем основным направлениям археологической науки. К глубокому сожалению, наш институт, как и другие академические да и неакадемические научные учреждения страны, переживает в последние годы нелегкие времена. В особо тяжелом положении оказалась экспедиционная деятельность. Однако, несмотря на все многочисленные проблемы и трудности нашего переломного периода, институт продолжает выполнять целый ряд исследований, в частности, успешно идет работа над составлением «Археологической карты России» (первые четыре выпуска этого важного труда уже вышли в 1993 г.).

И свой 75-летний юбилей коллектив института встречает с некоторой долей оптимизма, полагая, что труд отряда российских археологов будет нужен всегда: ведь без изучения прошлого — богатейшего археологического наследия страны — у россиян нет и будущего.

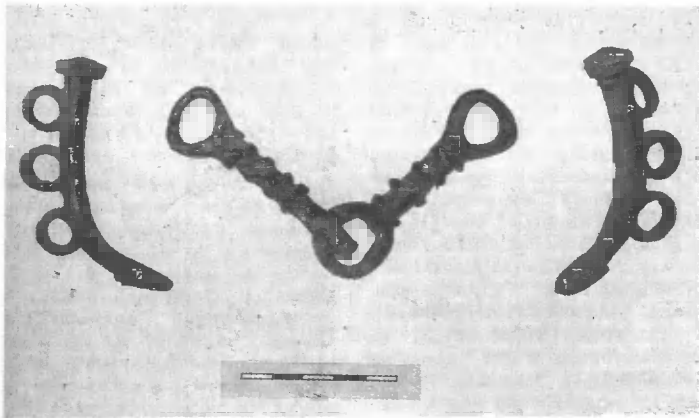
«Древности нашего Отечества»

ТАК НАЗЫВАЛАСЬ выставка новых археологических открытий, которая была организована в марте—апреле 1994 г. в Москве, в Музее декоративно-прикладного и народного искусства. Она была подготовлена Институтом археологии РАН и приурочена к его 75-летию юбилею. В организации выставки принимали также участие Российский НИИ культурного и природного наследия и Центр археологических исследований Москвы. Подобные большие выставки, посвященные достижениям отечественной археологии, проводятся редко, хотя интерес к ним как российской, так и зарубежной общественности очень велик.

Представленная коллек-

ция состояла из находок последних экспедиций Института археологии РАН. Они принадлежат культурам разных древних народов и в целом охватывают период от палеолита до позднего средневековья. Особую группу экспонатов составили находки из раскопок в Москве, относящиеся к XIV—XVIII вв. н. э. В экспозиции были показаны изделия из драгоценных металлов, бронзы, железа, кости, дерева, ткани, кожи, керамики, дающие представление об уровне развития ремесел и производственных приемах древности, о быте и погребальном обряде. Большинство из этих находок никогда не публиковались в печати и выставлялись впервые.

Поселение Сунгира в окрестностях г. Владимира (раскопки О. Н. Бадера) — одно из самых северных палеолитических памятников Русской равнины. Его возраст — более 27 тыс. лет; археологическая культура, к которой он принадлежит, имеет аналоги среди contemporaneous ему памятников Среднего Дона. Знаменит Сунгира двумя уникальными по богатству погребениями — пожилого мужчины и сдвоенным захоронением мальчика и девочки (возраст погребенных 12 лет). По положению тысяч бус из бивня мамонта, некогда нашитых на одежду, можно судить о ее покрое. В погребения положены копья (одно из них, вырезанное из цель-



Удила. Бронза. Протомеоты. Могильник Ахтырский лиман в Прикубанье, VII—VI вв. до н. э. Раскопки И. А. Сорокиной и Л. Б. Орловской.

Фрагмент диадемы и нашивные бляшки. Золото. Меоты. Могильник Лебеди III в Прикубанье, IV в. до н. э. Раскопки И. С. Каменецкого.



ного выпрямленного бивня мамонта, достигает 2,4 м в длину), дротики, костяные жезлы, резные диски, фигурки животных, браслеты из бивня мамонта. Эти находки не имеют себе равных в мире. На выставке экспонировались муляж двойного погребения и реконструкция облика мальчика и девочки, выполненные Г. В. Лебединской и Т. С. Сурниной.

Эпоха мезолита (около 10—7 тыс. лет назад) приходится на время становления современного климата и ландшафта. В этот период люди заселили всю территорию Восточной Европы. Население вело подвижный образ жизни, зани-

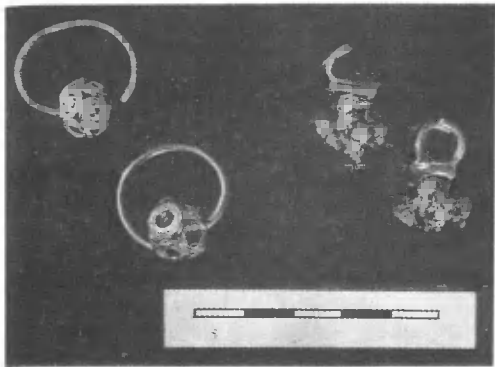
маясь охотой, рыболовством и собирательством. Основным оружием служили лук и стрелы, копье, дротик и кинжал. Рыбу били острой, ловили сетями, вершами и на крючок. Стоянки эпохи мезолита представляют собой остатки временных лагерей, в которых жила одна или несколько семей. Жилища небольшие, чаще наземные. Орудия изготовлялись из камня, кости, рога и дерева. На выставке была представлена часть уникальных костяных орудий из торфяниковых поселений на р. Дубне (Московская обл., бассейн Верхней Волги — раскопки М. Г. Жилина). Разнообразии форм и совершенство

обработки этих изделий говорят об их важной роли в жизни древнего человека и высокому уровню развития его культуры.

В Волго-Окском междуречье в эпоху неолита, которая наступила здесь около 7200—7000 лет назад и длилась до середины III тысячелетия до н. э., преобладали смешанные леса с примесью широколиственных пород. Обитавшие на этой территории племена (представители верхневолжской, льяловской и волосовской археологических культур) жили в небольших поселениях по берегам рек и озер, занимались охотой, рыболовством и собирательством; орудия труда делали из камня, кости и дерева; дерево обрабатывали шлифованными теслами и долотами. На выставке было показано разнообразное охотничье и рыболовецкое снаряжение (раскопки Д. А. Крайнова, В. В. Сидорова, А. В. Энговатовой). Весьма примечательна также маска из рога лося, передававшая портретные черты умершего из погребения волосовской культуры¹.

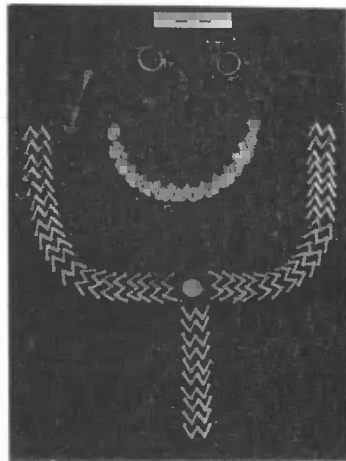
В степях Северного Причерноморья и Предкавказья в бронзовом веке (вторая половина IV тысячелетия — середина II тысячелетия до н. э.) обитали племена древнейших скотоводов. Они разводили крупный и мелкий рогатый скот и лошадей, первыми освоили простор степей и перешли к кочевому хозяйству, передвигаясь в течение года вслед за стадами в домах-повозках (на выставке можно было видеть реконструкцию подобной повозки по материалам раскопок А. Н. Гея в степном Прикубанье, а также керамику степных племен Ставрополья и древнейшие бронзовые изделия — ножи и шилья). Первыми приспособили они лошадей и для верховой езды. Свои захоронения в ямах, катакомбах или срубках (отсюда — соответствующие названия археологических культур — ямная, катакомбная, срубная) они совершали в огромных, высотой 10—12 м, искусственно насы-

¹ См. в этом номере публикацию Д. А. Крайнова.



Серьги. Золото. Сарматы. Дагестан, II—I вв. до н. э. Раскопки Г. Г. Пятаха.

Украшения женской одежды. Золото. Сарматы. Дагестан, III в. н. э. Раскопки В. Л. Державина.



паемых курганах. Эти подвижные и воинственные степняки-кочевники часто вторгались в соседние области, занятые племенами оседлых земледельцев, сжигали и разрушали их поселения, грабя и угоняя их жителей. В своих походах они проникали в Закавказье, на Балканы и даже в Центральную Европу. Есть основания считать их непосредственными предками современных народов индоевропейской языковой семьи, а их вторжения — волнами расселения индоевропейцев в Европе и Азии.

Бронзовый век в Волго-Окском крае, как и во всей лесной зоне, наступает позже, чем в степях. В начале II тысячелетия, до н. э. на эту территорию, искони заселенную финно-угорскими племенами, проникает иное население — представители фатьяновской и балановской археологических культур. Распространяются изделия из меди и бронзы; наряду с охотой и собирательством появляются элементы производящего хозяйства — скотоводства и примитивного земледелия. В середине II тысячелетия до н. э. здесь формируется культура сетчатой керамики. Ее носители были знакомы с металлообработкой и ткачеством, но по-прежнему продолжали пользоваться и каменными орудиями. На выставке демонстрировались материалы из раскопок К. В. Воронина в Ярославской обл.

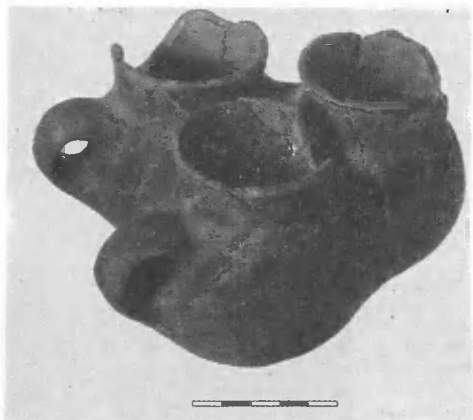
Наиболее ранние находки эпохи железа относятся к IX—VIII вв. до н. э., к кобанской культуре (названа по всемирно известному могильнику Верхний Кобан в Северной Осетии),

которая сложилась в Центральном Предкавказье еще в эпоху бронзы. Кобанские племена занимались земледелием и придомным скотоводством, имели богатую традицию металлообработки, особенно славилась бронзовыми изделиями (в экспозиции были показаны находки из раскопок В. И. Козенковой и В. Б. Ковалевской). Кобанские традиции сохранились в материальной и духовной культуре современных народов Кавказа.

Значительную долю экспозиции составили меотские древности. Меоты — племена бассейна Кубани, известные по описанию Геродота, — в период с VIII—VII вв. до н. э. по III в. н. э. жили в городищах, укрепленных валами и рвами. Со времени образования в Северном Причерноморье греческих колоний меоты находились в тесном контакте с их культурой и государственностью. Часть представленных в коллекции предметов, особенно золотые украшения, сделаны под сильным влиянием античной традиции: бляшки с головкой медузы Горгоны, фрагменты диадемы с грифонами, керамическое изображение богини Деметры (могильник Лебеди III в. Прикубанье, IV в. до н. э. — раскопки И. С. Каменецкого). Меотская керамика была очень популярна в древности и достигала Поволжья и Западного Казахстана. Особый интерес представляют вещи раннего периода (VII—VI вв. до н. э.): керамика, бронзовые предметы конской упряжи (раскопки И. А. Соколовой, Л. Б. Орловской); они демонстрируют яркое своеобразие местной протомеотской

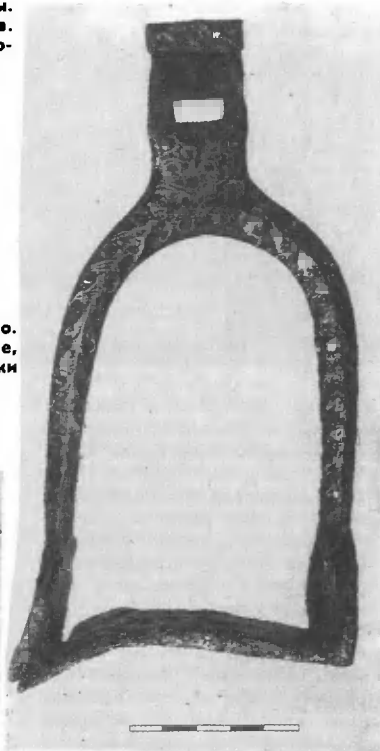
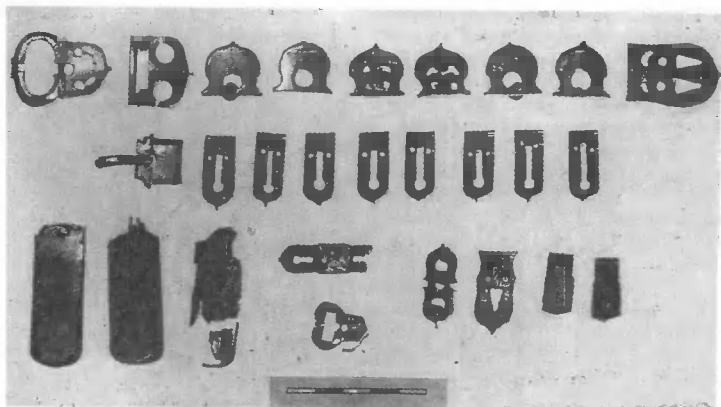
культуры, еще не затронутой греческой колонизацией.

Сарматы, непосредственные соседи меотов, оставили огромное число памятников, часть из которых уже хорошо изучена. Под именем сначала савроматов, а затем сарматов в VII—VI вв. до н. э. к востоку от Дона формируется большая группа иранских племен, ближайших родственников скифов. В III в. до н. э. они начали движение на запад, вытесняя скифов в Крым, и в I в. до н. э. вышли к Дунаю, к границам Римской империи. Одновременно происходила менее изученная экспансия на юг, в Среднюю Азию. Известны многочисленные походы в Закавказье. С рубежа нашей эры среди сарматских племен выделяются аланы, имя которых затем распространяется и на другие племена, вытесняя этноним «сарматы». Прямыми потомками сармат-алан на Северном Кавказе являются современные осетины. Сарматы были кочевниками, поэтому археологам известны только погребальные памятники этого народа. Значительные достижения сармат в области военного дела. По-видимому, именно в их среде впервые появились тяжеловооруженные всадники, защищенные панцирями. Широко распространяются сарматские типы оружия: сложный лук и наконечники стрел, длинные и короткие мечи, воспринятые и меотами, и греками Северного Причерноморья, распространившимися



Сосуд. Керамика. Аланы. Прикубанье, VIII—X вв. н. э. Раскопки И. А. Со-рокиной.

Детали пояса. Серебро. Аланы. Прикубанье, VIII—X вв. н. э. Раскопки Г. Г. Пятыха.



Стремя. Железо с серебряными инкрустациями. Аланы. Подолье, VIII—X вв. н. э. Раскопки Г. Е. Афанасьева.

и в Средней Азии. В области искусства сарматы создали один из вариантов «звериного стиля», который наиболее известен по скифским и алтайским образцам.

На выставке были представлены предметы из сарматских погребений Приуралья, Прикубанья, Ставрополя и Дагестана (раскопки Л. Т. Яблонского, Т. Н. Трунаевой, А. Н. Гея, М. В. Державина, М. В. Андреевой, Г. Г. Пятыха). К наиболее ранним (V в. до н. э.) относятся находки из Приуралья — погребение жрицы с каменным алтарем. Курганы и курганные могильники — типичные погребальные памятники степных скотоводческих племен, начиная от энеолита (раннего бронзового века) до средневековья: в степях во все времена сооружение курганов было связано не только с необходимостью выделить родовое или семейное кладбище среди необъятных равнин,

но и со стремлением закрепить за собой права на самые удобные участки пастбищ. Именно к такому роду памятников относятся Олений и Карстовый могильники, в которых наиболее древние захоронения были совершены еще в раннем бронзовом веке. В последующие эпохи здесь же хоронили своих соплеменников и другие народы. Сарматские погребения в этих могильниках датируются II—I вв. до н. э. На выставке экспонировались золотые украшения погребального покрывала, головного убора, золотые гривны — шейные украшения, подвески. Наиболее поздние сарматские материалы происходят из Дагестана и относятся к III в. н. э. (золотые украшения женского костюма).

Уникальна коллекция стеклянных сосудов и предметов вооружения с территории Боспорского царства (Прикубанье, раскопки А. А. Малы-

шева). Эти вещи найдены в меото-сарматских погребениях I—III вв. н. э. под Новоросийском — в тот период этот район входил в состав Боспорского государства. Как требовал известный для меотской культуры погребальный ритуал, в последний поход умершего сопровождали лошади — от одной до трех.

Огромный интерес представляют многочисленные аланские памятники Северного Кавказа (поселения и могильники). Как и скифы, аланы проникли на территорию крупнейших государств древности. Основным местом их обитания стало Центральное Предкавказье, где на протяжении длительного времени (IV—XIV вв. н. э.) складывалась аланская государственность. Одним из типичных могильников алан является Мокрая балка. В коллекции, собранной В. Б. Ковалевской на этом памятнике, представлены соляные

амулеты (с солнечной символикой) — необходимая деталь костюма VI—IX вв.; бронзовые зеркала-подвески, часто специально разбитые при погребении.

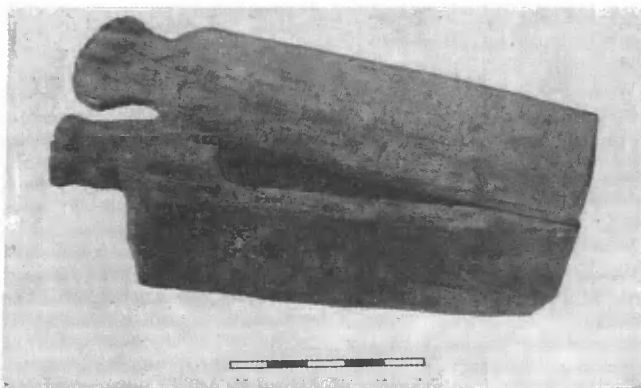
Многие вещи из коллекции уникальны не только благодаря художественным достоинствам, материальной ценности, но и своей сохранности. Известно, что органические материалы редки в археологических памятниках, тем более интересна серия находок из могильника Мошечая балка на Западном Кавказе (VIII—X вв. н. э. — раскопки И. С. Каменецкого и Е. И. Савченко). В коллекции представлена деревянная посуда, образцы тканей и ковров, фрагменты одежды и другие предметы быта эпохи раннего средневековья. Могильник, оставленный алаано-адыгскими племенами, расположен на хребте, идущем вдоль р. Большая Лаба на высоте 938 м над ур. н. м. Через ближайший Санчарский перевал в то время проходил Великий шелковый путь. Отсутствие влаги, сухость почвы, хорошая вентиляция, обмазка гробниц и ниш глиной создали благоприятные условия для сохранности органических материалов. Это позволяет проследить обряд захоронения с редкой доступной археологам полнотой.

Салтово-маяцкая археологическая культура, к которой относится значительная часть находок, показанных на выставке, существовала тоже в VIII—X вв. н. э. Оставившее ее население входило в состав Хазарского каганата — раннефеодалного государственного образования, возникшего в середине VII в. н. э. на территории Нижнего Поволжья и восточной части Северного Кавказа. До начала VIII в. столицей Хазарского каганата был город Семьендер, находившийся в современном Дагестане, а затем она была перенесена на Нижнюю Волгу в город Итиль. К началу VIII в. хазары владели уже всем Северным Кавказом, Приазовьем и большей частью Крыма, а также степными и лесостепными территориями Восточной Европы до Днепра. Сами хазары и родственные им протобугарские



Кукольная одежда. Текстиль. Адыго-аланы. Могильник Мошечая балка на западном Кавказе, VIII—X вв. н. э. Раскопки И. С. Каменецкого и Е. И. Савченко.

Пенал. Дерево. Адыго-аланы. Могильник Мошечая балка, VIII—X вв. н. э. Раскопки И. С. Каменецкого и Е. И. Савченко.



племена кочевников-скотоводов составляли меньшинство населения, а наиболее значительную его часть — аланы. Центром ремесла и торговли были их крупные оседло-земледельческие поселения на Северном Кавказе и в бассейне среднего Дона, а также города в Крыму. Экспонаты выставки — керамика, оружие, украшения, амулеты, зеркала, предметы конской упряжи, поясные наборы из золота, серебра и бронзы, происходящие из аланских могильников (раскопки Г. Е. Афанасьева, И. А. Сорокиной, А. Г. Атавина, Я. М. Паромова), дают наглядное представление как о высоком уровне ремесла, так и о широких торговых свя-

зях с Византией, Ираном, Китаем.

Некоторая часть экспонатов (серебряная чаша византийской работы с тиснением, стеклянный сосуд, железный шлем и стремена из раскопок И. А. Сорокиной и Л. Б. Орловской на Кубани) относится к более позднему времени — XIII—XIV вв. — и связана с памятниками другого культурного круга, возможно, половецкими.

Значительное место на выставке занимали материалы по средневековой истории лесной зоны России. На рубеже I—II тысячелетий н. э. между речью Оки и Волги было заселено древнемордовскими племенами. Мордва — коренное



Чаша византийской работы. Серебро. Половецкое погребение в Прикубанье, XIII в. н.э. Раскопки И. А. Сорokinной.

население Поволжья; вместе с удмуртами и мари оно составляет волжскую ветвь финно-угорских народов. Жили мордовские племена в полуземлянках; в случае опасности укрывались в городищах-убежищах, расположенных в лесах на мысах оврагов; вели земледельческое хозяйство, занимались также скотоводством и охотой; остатки железодельных горнов и кузнечные инструменты свидетельствуют о развитии кузнечного ремесла. Однако наиболее полные представления о быте, социальном и культурном уровне этих людей дают их ритуальные памятники — родовые кладбища. Женские погребения изобилии содержат украшения из бронзы и серебра, лепные сосуды с напутственной пищей, вязальные крючки, пряслица; в мужские — наряду с орудиями труда, оружием, конской сбруей — еще положена и посмертная жена

или наложница. В экспозицию выставки вошли украшения — гривны, бляхи, «шумящие» подвески из раскопок Р. Ф. Ворониной.

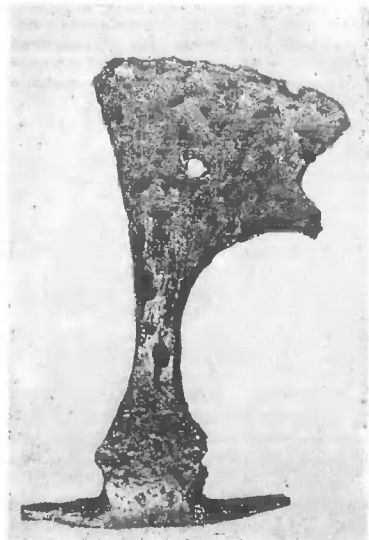
Север Руси (современная Архангельская и Вологодская области) в X—XIII вв. был периферией древнерусского государства и особой культурной провинцией, образовавшейся при участии двух важнейших этнических компонентов: финно-угорского и славянского. Он долгое время оставался слабо заселенным и сохранял архаичный хозяйственный уклад, являясь главным районом добычи ценной пушнины, что обеспечивало благосостояние этого края и делало его жизненно важным для древнерусской экономики. Характерные для этой культуры находки происходят преимущественно из погребений (раскопки Н. А. Макарова): боевые топоры, принадлежавшие дружинникам, которые контролировали водный путь из Онежского озера в Белое; миниатюрные бронзовые амулеты-топоры из детских погребений — точные копии боевого оружия; типично сла-

вянский набор украшений из женских погребений; миниатюрная каменная иконка с изображением святого в рост и др.²

Древнерусская археология представлена также коллекцией из раскопок А. Е. Леонтьева и Н. Г. Самойлович в Ростове — старейшем городе Северо-Восточной Руси, впервые упомянутом в летописи под 862 г. С конца X в. он становится центром княжества, где находилась и резиденция епископа (впоследствии архиепископа, затем митрополита). Один из крупнейших городов домонгольской Руси, он в XII в. был удостоен эпитета «Великий». После монгольского разорения город в значительной мере утратил прежнюю славу и в XIV в. вошел в состав Московского государства. В XVI—XVII столетии Ростов вновь стал процветающим торговым городом. Коллекция представленных вещей характеризует быт горожан XII—XVII вв. Это обиходные орудия свойственных; своему времени форм: оковка деревянной лопаты, топоры, ножи, двусторонние гребни из лосяного рога, пряслица, выточенные из особого камня — розового или красного шифера (полагают, что в XII—XIII вв. такие стандартные пряслица могли заменять разменную монету). Из украшений обычными для горожанок были ожерелья из стеклянных, реже сердоликовых и хрустальных бус, разноцветные стеклянные браслеты и перстни, которые изготавливались во многих городах, в том числе и в Ростове. Для письма по бересте и восковым табличкам использовались писала, распространившиеся на Русь через Византию.

Старая Русса — еще один древнерусский город, находки из которого вошли в экспозицию (раскопки В. Г. Мироновой). Впервые этот город, расположенный в 14 км к югу от оз. Ильмень на территории Новгородской обл., упоминается в летописи под 1167 г. Мощностъ городского культурного слоя достигает 5—6,5 м.

² Подробнее см.: Макаров Н. А., Захаров С. Д. Древности затопленного Белоозера // Природа. 1993. № 4. С. 62—68.



Амулет-топорик. Бронза. Кемский некрополь славян-колонистов на Белом озере, XI в. н. э. Раскопки Н. А. Макарова.



Подвеска-конек. Бронза. Могильник Крохинские пески вблизи летписского города Белоозеро, XI—XIII вв. Раскопки Н. А. Макарова.

Археологические исследования, проведенные на площади около 1500 м², «удревели» его почти на 200 лет (нижние напластования датируются рубежом X—XI вв.). Городская материальная культура Старой Руссы по уровню развития не уступает таким древнерусским центрам, как Новгород, Псков, Владимир. Археологами открыты целые кварталы из жилых и хозяйственных деревянных построек, которые объединены в усадебные комплексы, расположенные вдоль деревянных мостовых улиц,— до 28 ярусов таких настилов. Среди найденных предметов быта особое место принадлежит берестяным грамотам XI—XV вв. (две включены в экспозицию). Всего к настоящему времени таких

грамот здесь обнаружено 28. Этот уникальный источник не только демонстрирует высокий уровень грамотности населения, но и позволяет исследовать многочисленные проблемы политического, экономического и культурного развития древнерусского города.

С 1989 г. в Москве существует Центр археологических исследований, в задачи которого входит предварительное изучение участков, где намечается большое строительство. Сотрудники этого центра уже вели наблюдения и раскопки на улицах Волхонке, Мясницкой, Рождественке, Сретенке, Ордынке, Станкевича, в 1-м Казачьем и Георгиевском переулках, на Трубной и Театральной площадях и других местах (рас-

копки А. Г. Векслера, О. Р. Лебедевой). К интереснейшим находкам можно отнести инкрустированный золотом топорик, резные костяные и деревянные кресты, слезницы разных форм, клад серебряных монет XVI в. Центр ведет большие археологические исследования на Манежной площади, где под многометровой толщей строительного мусора XIX—XX вв. сохранился культурный слой предшествующих столетий. Среди найденных здесь предметов — красные, полихромные, расписные изразцы, порбохвица, донце бочонка с надписью, костяная ложечка и другие вещи, представленные в экспозиции.

Выставка привлекла внимание не только общественности, но и специалистов, поскольку таким образом в научный оборот вводились материалы, до сих пор не опубликованные ни в России, ни за рубежом. Как показывает опыт, результаты археологических исследований в России известны на Западе недостаточно, хотя для научного прогресса это совершенно необходимо. Кроме того, изучение истории и материальной культуры разных народов способствует взаимопониманию и укреплению культурных связей между ними. Предполагается, что экспозиция «Древности нашего Отечества» будет демонстрироваться за рубежом.

© Обзор материалов выставки подготовила кандидат исторических наук И. А. Сорокина
Институт археологии РАН

Уникальная маска из рога лося

Д. А. Крайнов,

доктор исторических наук
Институт археологии РАН
Москва

ОДНОЙ из самых ярких находок последних лет по праву считается уже знаменитая костяная маска из жертвенной ямы-«святилища» Сах-

тыш IIa, расположенного на территории Ивановской области, Тейковского р-на, у села Сахтыш. Маска изготовлена из цельного куска основания рога лося и представляет собой неполное изображение лица взрослого че-

ловека в натуральную величину: лобную часть и нос. На ее внешней поверхности тщательно проработаны основные детали анатомии лица — лобные бугры, брови и объемные очертания носа, которому придана «класси-

ка



Роговая маска из волосовского погребения Сахтыш IIa. Отчетливо видны хорошо проработанные древним резчиком анатомические черты лица.

Та же маска анфас.

ее временные границы: часть исследователей относят ее к медно-каменному веку, а другие продолжают настаивать на ее неолитическом возрасте. Не разгадана до конца и этническая принадлежность волосовцев: многие связывают их с предками финноязычных народов, но немало ученых утверждают, что волосовцы — индоевропейцы.

Носители волосовской культуры — рыболовы и охотники, стоявшие на пороге освоения пастушеско-земледельческих занятий, — были непревзойденными умельцами по изготовлению разнообразных орудий труда, бытовых и культовых вещей. Наконечники стрел, ножи, деревообрабатывающие инструменты, гарпуны, рыболовные крючки, ритуальные антропоморфные и зооморфные скульптурки из камня и кости поражают технологическим совершенством, эстетическим видом, соразмерностью пропорций. Волосовские изделия представлены во многих отечественных музеях, а рисунки волосовских орудий и культовых предметов приводятся в учебниках истории для иллюстрации уровня первобытного производства и в качестве классического образца древнего изобразительного искусства.

Маска найдена на одном из двух ритуальных комплексов «святилищ», остатки которых были обнаружены на кладбище стоянки Сахтыш IIa. «Святилище» находилось северо-западнее более ранней группы погребений и располагалось в наземной застройке, следы которой зафиксированы на глубине 30—40 см от современной поверхности в виде овального пятна темной супеси диаметром около

ческой» форма. Внутренняя поверхность маски обработана более грубо, но все же достаточно, чтобы ее можно было безболезненно надевать на лицо. Крепление маски на голове осуществлялось с помощью простых шнурков, которые продевались в четыре просверленных по краям налобника отверстия и завязывались на затылке.

Создателем маски, поражающей воображение совершенством формы и мастерством обработки кости, был представитель волосовской археологической культуры.

По числу исследованных памятников волосовская культура в Волго-Окском междуречье (III — начало II тысячелетия до н. э.) могла бы считаться одной из самых изученных культур того времени в лесной зоне Восточной Европы, если бы не множество связанных с ней спорных проблем. До сих пор, например, нет единого мнения о ее истоках (одни археологи полагают, что она возникла на основе местных волго-окских неолитических культур, другие считают прародиной волосовцев Прикамье). Не вполне ясны и



7 м. Ряд столбовых ямок позволяет предполагать, что первоначально постройка имела прямоугольную форму и представляла собой имитацию волосовского жилища столбовой конструкции с двухскатной крышей и коридорообразным выходом на восток. Внутри постройки по центру обнаружена яма, которая с отметки 95 см приобретала почти правильные прямоугольные очертания (170×40 см), прослеживавшиеся на глубину 130 см, до самого ее дна. На дне ямы находился настил из дерева (веток), зафиксированный в профиле в виде двух тонких по-

лос темного суглинка, а сама яма заполнена рыхлой черной супесью, которая представляет собой культурный слой, насыщенный мелкими угольками и разрозненными находками: фрагментами верхневолжской, льяловской и волосовской керамики, орудиями и их обломками, отщепами, костями различных животных. Находки, непосредственно связанные с функционированием ямы-«святилища», немногочисленны. В центре ямы на глубине 57—65 см было расчищено небольшое компактное скопление костей медведя, лося, бобра и ку-

ницы. Под ними на отметке 70 см находился частично развалившийся волосовский сосуд средних размеров с гребенчатым орнаментом. Четыре крупных фрагмента этого же сосуда обнаружены в культурном слое над ямой на глубине 20—30 см. Это свидетельствует о том, что сосуд и кости первоначально располагались над ямой на каком-то помосте, скорее всего, на ее перекрытии, которое после прекращения функционирования «святилища» рухнуло вниз. Под развалом сосуда на глубине 95 см от современной поверхности и была обнаружена эта уникальная маска. Непосредственно под ней находились угли и древесный тлен — остатки своеобразного подноса или короба для ее хранения. Ниже залегал слой (в 2—3 см) сильно разложившихся (пережженных?) раковин, а вокруг — большое количество мелких рыбьих костей.

Судя по стратиграфии и радиоуглеродным датировкам, это «святилище» относится к ранневолосовскому времени. Остатки постройки, в которой находилась яма, в некоторых местах перекрыты поздними захоронениями. Совершить их стало возможным только после того, как «святилище» было уже заброшено. Произошло это примерно 2480±250 лет до н. э. (ГИН-6555) — так датируется уголь из засыпки ямы, а уголь и древесина, взятые из-под маски, имеют возраст 4790±180 лет, или 2840 г. до н. э. (ГИН-6556). Последняя дата, по-видимому, несколько удревнена, но, несмотря на это, она, в принципе, свидетельствует о времени функционирования этого «святилища» и его синхронности ранним волосовским погребениям. По нашему мнению, «святилище» было связано с культом предков и проведением каких-то ритуалов во время захоронения, а сама яма имитировала могилу предка, обобщенный образ которого олицетворяла роговая маска.

Микробиологические процессы сероводородного заражения водоемов

Н. В. Пименов,
кандидат биологических наук

А. С. Саввичев,
кандидат биологических наук
Институт микробиологии РАН
Москва

А. Ю. Опекунов,
кандидат геолого-минералогических наук

М. Е. Барт
Ассоциация «Донная экология»
Санкт-Петербург

ИЗДАВНА сероводородное загрязнение связывали с природными процессами, происходящими в морских водах и донных отложениях, содержащих сульфаты. Сероводородом насыщены глубинные слои и осадки Черного моря. Обнаружен он и в водной толще отдельных понижений Балтийского моря. Выделение высокотоксичного для человека сероводорода в атмосферу характерно для некоторых евтрофных озер и континентальных водоемов, содержащих природные сульфаты в придонных горизонтах.

Сероводородному заражению подвержены устьевые участки рек, в особенности испытывающие антропогенную нагрузку. Для таких водоемов характерны частые сгонно-нагонные явления, приводящие к смешению морских и пресных вод. Сочетание же высоких концентраций минеральных солей азота и фосфора, типичных для речных вод, с сульфатами морских вод обеспечивает активные процессы продукции и деструкции органического вещества как в водной толще, так и в донных осадках.

Многообразие и сложность биогеохимических процессов, протекающих в высокопродуктивных водных экосистемах, делают их крайне чувствительными к любым внешним воздействиям, и прежде всего к антропогенному загрязнению.

Яркий пример зоны экологического бедствия, вызванного бесконтрольным сбросом в реку промышленных и бытовых стоков — устьевой участок р. Преголи, находящийся в черте Калининграда, города с развитой

промышленностью, крупными портами, жилыми массивами. Катастрофической экологической ситуацией в реке стала после появления во всей водной толще в летний сезон значительных количеств сероводорода, который не только вызывает массовую гибель макрофауны реки, но и, поступая в атмосферу, ставит под угрозу здоровье населения прилегающих к Преголе районов Калининграда. Так, по данным гидрохимических исследований, проведенных в 1991—1992 г., в водной толще в городской черте кислород полностью отсутствовал с конца июня по начало октября, а сероводород появлялся с середины июля и отмечался до конца сентября, причем в августе содержание H_2S достигало 8,5 мг/л.

Общественность Калининграда была обеспокоена появлением запаха сероводорода в летние месяцы в черте города. Областная Госкомприрода, решив разобраться с причиной явления, после долгих раздумий дала заказ на проведение исследований ассоциации «Донная экология» (Санкт-Петербург). Петербуржцы пригласили для участия в работе небольшой коллектив лаборатории микробной биохимии Института микробиологии РАН. Проведенные летом и осенью 1992 г. совместные исследования Преголи, оказались столь интересными, что для обработки данных оказалось необходимым привлечь средства из государственной программы «Новейшие методы биоинженерии». Первоначально поставленный чисто прикладной вопрос перерос в интересную научную задачу. Приступая к исследованиям, мы опирались на известное положение, что главным источником образования сероводорода и сульфидов — процесс бактериального восстановления сульфатов.

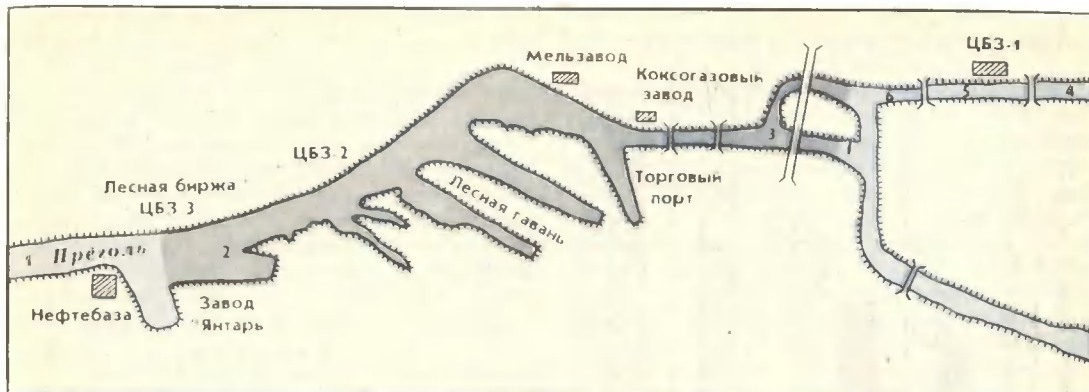


Схема расположения станций отбора проб (обозначены цифрами) из р. Преголи в черте Калининграда. Цифрой 1 показана область распространения сероводорода [август 1992 г.]

Сульфатредуцирующие бактерии широко распространены в природе, они образуют сероводород в соляных озерах, морях, пресноводных водоемах, а также в минеральных источниках, нефтяных водах и в некоторых почвах. Их деятельность прямо или косвенно приводит к отложению сернистого железа, пирита и карбоната кальция. Участвуют они в образовании лечебных минеральных грязей и в генезисе нефти, но и могут быть одним из факторов коррозии бетонов.

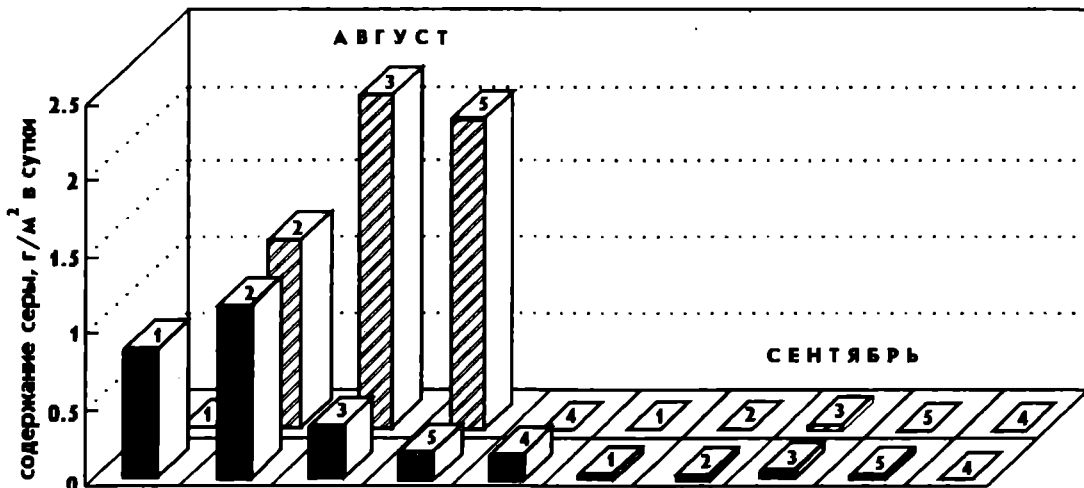
Процесс бактериального восстановления сульфатов может проходить только в отсутствие кислорода, так как все сульфатредуцирующие микроорганизмы — анаэробы и для их развития необходим низкий окислительно-восстановительный потенциал. Кроме того, для их жизнедеятельности благоприятны величины pH, близкие к нейтральным, но они способны развиваться и в средах от 4.0 до 10.0. Энергетический обмен сульфатредуцирующих бактерий основан на анаэробном окислении низкомолекулярных органических веществ до углекислоты за счет сопряженного восстановления сульфатов до сероводорода. Большинство сульфатредуцирующих бактерий не способны использовать сложные органические соединения, в том числе углеводы, углеводороды, нефти, нелетучие жирные кислоты, спирты. Многочисленные попытки разных исследователей получить сероводород из сульфатов при низких температурах химическим путем, используя в качестве восстановителей нефть, уголь, сланцы, легкие углеводороды, не дали положительных результатов при продолжительности экспериментов до года. В осадках водоемов эти органические соединения используются бактериями, осуществляющими

разные типы брожения и выделяющими при этом низкомолекулярные органические вещества и водород, — источник питания для сульфатредукторов. В природных условиях восстановлению сульфатов до сероводорода с участием сульфатредуцирующих бактерий благоприятствует повышение температуры до 20 °C и выше.

Помимо сульфатредуцирующих бактерий к образованию сероводорода способны также гнилостные бактерии. Для развития им требуется органическое вещество, богатое белками, и анаэробные условия. Массовое развитие гнилостных бактерий в естественных водоемах наблюдается редко, однако обильный сброс недостаточно очищенных бытовых стоков способен спровоцировать такое явление.

Для того чтобы разобраться, какая из групп бактерий — гнилостные или сульфатредуцирующие — играет основную роль в образовании сероводорода в р. Преголи, мы провели изучение изотопного состава серных соединений в воде и донных осадках. Смысл этого подхода состоит в том, что гнилостные бактерии образуют сероводород из серосодержащих органических соединений, и при этом процесса разделения изотопов ^{32}S и ^{34}S не происходит. Иными словами, в гнилостном сероводороде наследуется изотопный состав серы сероорганических соединений. При сульфатредукции происходит разделение изотопов ^{32}S и ^{34}S , причем более легкий изотоп концентрируется в сероводороде, а более тяжелый накапливается в остаточном сульфате.

Исследования водной толщи и донных осадков р. Преголи проводились на шести станциях, расположенных в черте Калининграда в августе и сентябре 1992 г. Полученные нами данные по изотопному составу серных соединений в донных осадках безусловно свидетельствуют о ведущей роли



Интегральная скорость сульфатредукции в поверхностном (0—20 см) слое донных осадков (темная часть столбиков) и водной толще (штриховая часть) Преголи в августе и сентябре 1992 г.

процесса сульфатредукции. Во-первых, все восстановленные соединения серы обогащены изотопом ^{32}S по сравнению с сульфатами из тех же самых проб. Во-вторых, широкий разброс величин $\delta^{34}\text{S}$ восстановленных соединений от $-26,1$ до $-6,3$ ‰ не может быть объяснен иначе, как результат локальных процессов сульфатредукции в отдельных горизонтах иловых отложений. В том случае если основным источником сероводорода служила органическая сера, изотопный состав восстановленных соединений был бы более однородным и близким к величине $\delta^{34}\text{S} = +3$ ‰.

Долгое время численность сульфатредуцирующих бактерий была единственным количественным критерием интенсивности процессов сульфатредукции. Однако значения численности микроорганизмов невозможно преобразовать для расчета масштабов процесса в исследуемом водоеме.

Прямое определение скорости процесса образования сероводорода в ходе бактериального восстановления сульфатов оценивалось разными методами. При исследовании иловых вод интенсивность этого процесса пытались охарактеризовать по уменьшению содержания сульфатов. В настоящее время для этой цели используют меченые соединения серы.

Метод был предложен М. В. Ивановым. Сущность его заключается во введении сульфата, меченного ^{34}S , в изолированную пробу по возможности ненарушенного исследуемого осадка. После инкубации пробы

при температуре, близкой к температуре осадка в природных условиях, определяется количество серы, перешедшее в форму H_2S (свободный H_2S , сера кислоторастворимых сульфидов железа, элементарная, органическая и пиритная сера). Зная исходное содержание природной серы сульфатов в данном осадке, рассчитывается интенсивность образования H_2S .

Используя радиоизотопную методику, мы определили масштабы биогенного образования сероводорода в различных участках акватории Преголи. В августе интенсивность сульфатредукции в водной толще Преголи определяли на станциях 2, 3, 5, где в воде полностью отсутствовал кислород, а содержание H_2S варьировало от 1 до 6,5 мг/л. Средняя скорость бактериальной сульфатредукции возрастала при удалении от устья со 138 мкг S/л в сутки (на станции 2) до 346 мкг S/л в сутки (на станции 5), что в 30—50 раз превышает максимальные интенсивности сульфатредукции в водах евтрофных озер. В октябре кислородный режим Преголи значительно изменился. Низкое содержание кислорода (менее 2 мг/л) отмечалось только на станциях 2 и 3. В районе станций 5 и 6, где летом кислород в водной толще полностью отсутствовал и были зафиксированы максимальные скорости сульфатредукции, в октябре концентрация кислорода оказалась близкой к насыщению. В результате средняя интенсивность бактериального восстановления сульфатов уменьшилась более чем на два порядка, и свободный сероводород в октябре в водной толще не обнаруживался. Учитывая, что осенью содержание сульфатов на станциях 2, 3 изменилось не существенно, а объемы промышленно-бытовых стоков даже увеличились, резкое снижение скорости

бактериальной сульфатредукции в этот период можно объяснить исключительно понижением температуры воды.

Наряду с водной толщей источником биогенного сероводорода являются донные осадки. Определение и расчет интегральной интенсивности сульфатредукции в наиболее активном (0—20 см) слое осадков показал, что в августе бактериальное восстановление сульфатов закономерно уменьшалось от 0.82—1.11 (на станциях 1 и 2) до 0.15 (на станции 4) г S/m^2 в сутки, а в октябре — варьировала от 6.1 до 27.7 мкг S/m^2 в сутки.

Аналогичные расчеты интегральной сульфатредукции, проведенные для водной толщи, показали, что суммарная продукция H_2S в воде в 6—12 раз превышала продукцию сероводорода в верхнем слое осадков. К тому же процесс сульфатредукции в донных осадках Преголи не может оказывать серьезного влияния на содержание сероводорода в водной толще еще и потому, что вся восстановленная сера осадков связывалась в форме сульфидов металлов.

Таким образом, в летний период за счет повышения температуры происходит активизация деятельности водных микроорганизмов и практически полное исчезновение кислорода в водной толще на всем протяжении реки в черте города. Огромное количество органического вещества, попадающее в реку в составе промышленных и бытовых стоков, в сочетании с высоким содержанием сульфатов создают благоприятные условия для активизации процесса бактериальной сульфатредукции. В холодные месяцы года скорость микробиологических процессов снижается, а сгонно-нагонные явления усиливаются. Значительные перемещения водных масс приводят к перемешиванию вод и полному исчезновению сероводорода в водной толще.

Сравнительная оценка масштабов образования и особенностей распределения сероводорода в водной толще и донных осадках показывает, что появляющийся в водах Преголи сероводород имеет биогенную природу и образуется как продукт деятельности сульфатредуцирующих бактерий непосредственно в водной толще. Суточная продукция сероводорода в августе в водной толще реки в черте города составила, по нашим оценкам, 1500 кг.

Как уже отмечалось, активизация процесса бактериальной сульфатредукции происходит при анаэробных условиях и наличии постоянных источников низкомолекулярных органических соединений и сульфатов. Поэтому для борьбы с сероводородным зара-

жением необходимо добиться резкого снижения или полного прекращения процесса бактериальной сульфатредукции, что возможно при устранении одного из вышеперечисленных факторов. Очевидно, что одним из способов борьбы с сероводородным заражением водной толщи может быть сокращение сброса в реку сточных вод некоторых предприятий, содержащих высокие концентрации сульфатов. Этот способ безусловно заслуживал бы внимания в случае отсутствия альтернативных источников сульфатов. Проведенный нами анализ природы сульфатов, основанный на масс-спектрофотометрическом определении изотопного состава серы сульфатов в образцах воды, взятой на различных станциях, показал, что борьба с сероводородным заражением водной толщи на основе сокращения поступлений сульфатов в составе сточных вод представляется неперспективной, поскольку в летний период морские воды проникают далеко вверх по течению. Высокие требования к очистке сточных вод от сульфатов могут предъявляться только в том случае, если на основе создания гидротехнических сооружений удастся ограничить проникновение морских вод вверх по течению. Однако это отдельный и весьма не простой вопрос.

С другой стороны, уменьшение масштаба сброса органического вещества в составе промышленных и бытовых стоков — это, на наш взгляд, эффективный, но крайне дорогостоящий процесс в условиях большого города с развитой промышленностью и коммунальными службами. Однако улучшение экологической ситуации в приустьевой зоне Преголи может быть достигнуто даже в случае сохранения объемов и качественного состава стоков при условии снижения поступления в летний период за счет осенне-зимнего сезона.

Нам представляется, что наиболее реальным способом борьбы с сероводородным заражением может быть принудительное аэрирование водной толщи Преголи в летний период, аналогично технологии поддержания нормального кислородного режима прудовых рыбных хозяйств.

Аналогичные проблемы, связанные с выделением сероводорода в атмосферу, актуальны и для многих других приморских городов. Комплекс методик, примененных нами для изучения масштабов и причин сероводородного загрязнения приустьевого участка Преголи, позволит решать сходные задачи и, возможно, рекомендовать методы борьбы с загрязнением.

Плазменные неустойчивости и космические аппараты

А. Ю. Ольховатов



Андрей Юрьевич Ольховатов, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института радиоприборостроения. Интересуется проблемами связи космос — Земля.

В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ накоплено большое количество информации об ионосферных процессах. Вместе с тем при интерпретации результатов наблюдений и особенно при создании теоретических моделей возникает ряд проблем, связанных с немногочисленностью данных о свойствах реальной ионосферной плазмы. Действительно, ионосферная плазма — весьма сложная открытая нелинейная система с разнообразными обратными связями. В ней могут существовать весьма сильные электромагнитные поля, потоки частиц и т. д., что приводит к развитию различного рода плазменных неустойчивостей, которые коренным образом могут изменить свойства ионосферной плазмы¹ (характерный пример — радиоаврора). Теория подобных явлений только начинает разрабатываться, поэтому в изучении свойств реальной ионосферной плазмы большую роль играют экспериментальные методы (инжекция химических веществ, радионагрев и др.).

Мы попытаемся, отталкиваясь от результатов наблюдений, выявить действие фактора нестабильного состояния ионосферной плазмы на возмущения, порождаемые движением космического тела (космический аппарат, болид и др.) в ионосфере.

Оказывается, в ряде случаев это приводит к появлению самых разнообразных эффектов, сопровождающих движение космического тела, причем, судя по некоторым данным, их действие может проявляться в масштабах вплоть до общепланетарного.

Сначала будет рассмотрено развитие ионно-циклотронной неустойчивости под действием пролета космического тела. Эта

© Ольховатов А. Ю. Плазменные неустойчивости и космические аппараты.

¹ О предполагаемых действиях этого фактора см.: Ольховатов А. Ю. // Изв. РАН. Физика Земли. 1992. № 10. С. 124—128; Он же // Геомагнетизм и аэрономия. 1990. Т. 30. № 5. С. 844—846; Он же // Геомагнетизм и аэрономия. 1991. Т. 31. № 4. С. 750—751. О процессах, сопровождающих движение тела в условиях низкого уровня неустойчивости плазмы см.: Ольховатов А. Ю. // Геомагнетизм и аэрономия. 1992. Т. 32. № 4. С. 64—68.

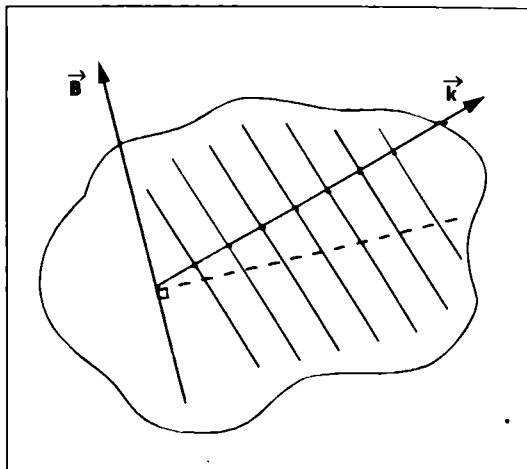
неустойчивость представляет особый интерес, поскольку генерируемые ею волны имеют низкие значения фазовой скорости вдоль геомагнитного поля, и они легко порождаются электрическими токами, текущими вдоль геомагнитного поля. Далее мы обсудим некоторые явления, обусловленные развитием других видов плазменных неустойчивостей, которые в настоящее время трудно идентифицировать. И наконец, остановимся на эффектах, обусловленных воздействием особо мощных возмущений (бомбидов, ракет и т. п.).

ИОННО-ЦИКЛОТРОННАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ

Покажем, что при нестабильном состоянии ионосферной плазмы, обусловленном наличием ионосферного электрического поля, движение космического тела в определенных условиях может привести к возбуждению ионно-циклотронной плазменной неустойчивости. Под ионно-циклотронной неустойчивостью имеется в виду следующее. В ионосферной плазме, находящейся в геомагнитном поле, заряженные частицы (набудут интересоваться электроны и ионы) могут свободно двигаться только вдоль силовых линий геомагнитного поля. При движении поперек этих линий начинает действовать сила Лоренца, которая «закручивает» частицу вокруг силовых линий геомагнитного поля, в результате чего она движется по окружности в плоскости, перпендикулярной к силовым линиям геомагнитного поля. Частота обращения частицы называется циклотронной частотой f_c и определяется по формуле

$$f_c = \frac{|q|B}{2\pi m},$$

где q — электрический заряд частицы, B — индукция геомагнитного поля, m — масса частицы. В зависимости от типа ионов f_c в ионосфере составляет десятки — сотни герц и 1,4 МГц для электронов. Анизотропия в движении частиц приводит к анизотропии многих свойств плазмы относительно направления силовых линий геомагнитного поля. Так, если ионы в какой-то момент времени сдвинуть в направлении, близком к перпендикулярно к силовым линиям геомагнитного поля, то на них, помимо силы притяжения со стороны электронов, будет действовать сила Лоренца. В результате возникнут так называемые электростатические ионно-циклотронные волны, частоту которых приближенно можно определить по формуле



Электростатические ионно-циклотронные волны. Они распространяются вдоль волнового вектора \vec{k} , направление которого близко к нормали к силовым линиям геомагнитного поля \vec{B} . При $\vec{k} \perp \vec{B}$ ионно-циклотронные волны вырождаются в нижнегибридные колебания.

$$f_{nc} \approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{(2\pi f_c)^2 + k^2 v_s^2},$$

где k — волновое число, v_s — скорость ионно-звуковых волн, т. е. волн, возбуждаемых тем же способом при условии смещения ионов вдоль направления силовых линий геомагнитного поля или при отсутствии магнитного поля. Если ионы сдвинуть точно в направлении перпендикулярно к силовым линиям геомагнитного поля, то электроны, размер орбиты которых намного меньше, чем у ионов, не смогут полностью последовать за ионами. В этом случае в плазме возникает так называемые нижнегибридные колебания с частотой приблизительно

$$f_{nr} \approx f_{ce} \cdot f_{ci},$$

где f_{ci} и f_{ce} — соответственно циклотронные частоты ионов и электронов. По порядку величины f_{nr} в ионосферной плазме составляет несколько килогерц. Ограничимся рассмотрением возбуждения ионно-циклотронных волн и нижнегибридных колебаний (как их вырожденным случаем) под действием электрического тока, протекающего через ионосферную плазму вдоль силовых линий геомагнитного поля. Подобная ситуация часто реализуется в высокоширотной и особенно авроральной ионосфере. Если дрейфовая скорость электрона хотя бы немного превышает скорость перемещения составляющей

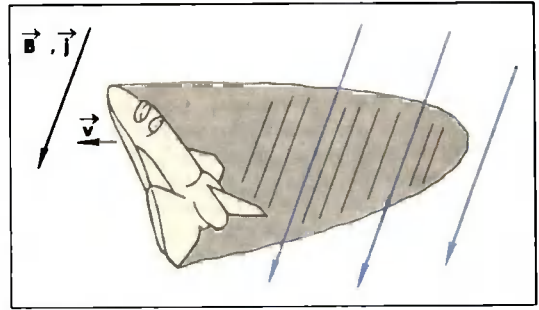
фазы волны вдоль силовой линии геомагнитного поля, то электроны начинают отдавать свою энергию ионно-циклотронным волнам. В этом случае говорят, что происходит развитие ионно-циклотронной (нижнегибридной) неустойчивости. Разумеется, реальная картина во много раз сложнее, однако для понимания идеи происходящего такого описания, по-видимому, достаточно.

Одно из следствий движения тела через ионосферную плазму — это образование в следе за телом области с пониженной электронной концентрацией². В тех случаях, когда тело инжектирует газ (газовыделение: поверхностью, работающими бортовыми двигателями, системами жизнеобеспечения полета и т. д.), область пониженной электронной концентрации расширяется, главным образом из-за вытеснения ионосферной плазмы. Влияние этого эффекта на развитие плазменных неустойчивостей можно пояснить следующим образом.

В ионосферном слое F при обычных величинах электронной концентрации, 10^5 см^{-3} , критическая плотность тока для развития электростатической ионно-циклотронной неустойчивости определяется дрейфовой скоростью электрона и составляет величину порядка 10^{-4} А/м^2 . Предположим теперь, что в некоторой области ионосферной плазмы существует электрическое поле, создающее плотность тока, несколько меньшую критической (в авроральной ионосфере такая ситуация возникает довольно часто). Если теперь на пути электрического тока появится область с пониженной электронной концентрацией, то из условия поддержания постоянной плотности тока следует, что скорость электронов в этой области должна возрасти во столько же раз, во сколько раз уменьшилась в ней величина электронной концентрации. Таким образом, скорость электронов может превысить критическую, что приведет к развитию ионно-циклотронной неустойчивости.

Существование такого механизма проверено в экспериментах по инжекции газа в авроральную ионосферу, когда генерация неустойчивости вызывает прерывание электрического тока и генерацию альфвеновских волн. А это в конечном счете приводит к воздействию на магнитосферу, влияние в том числе и на высыпание частиц³.

Вернемся к случаю движущегося кос-



Генерация ионно-циклотронных волн в следе космического тела.

В случае протекания электрического тока \vec{j} в ионосфере вдоль силовых линий геомагнитного поля в следе тела дрейфовая скорость электронов (из-за понижения электронной концентрации) увеличена и может превысить критические значения. Это приведет к генерации ионно-циклотронных волн, а при определенных условиях — и других типов волн (альфвеновских, магнитозвуковых и др.).

Реальная картина намного сложнее, поскольку рассмотренный процесс не только нелинеен, но также имеет многочисленные обратные связи. Поэтому не исключено, что в некоторых случаях область генерации плазменных волн может выходить далеко за пределы зоны пониженной электронной концентрации.

мического тела. Как показал анализ, действие описанного механизма должно привести к следующему:

в окрестности тела происходит генерация ионно-циклотронных волн с длинами порядка единиц — десятков метров, которые рассеивают радиоволны примерно таких же длин, особенно если их направление близко к направлению перпендикуляра к силовым линиям геомагнитного поля;

тело является источником альфвеновских волн;

может иметь место влияние на высыпание частиц вдоль силовой линии геомагнитного поля, проходящей через тело, с соответствующими последствиями.

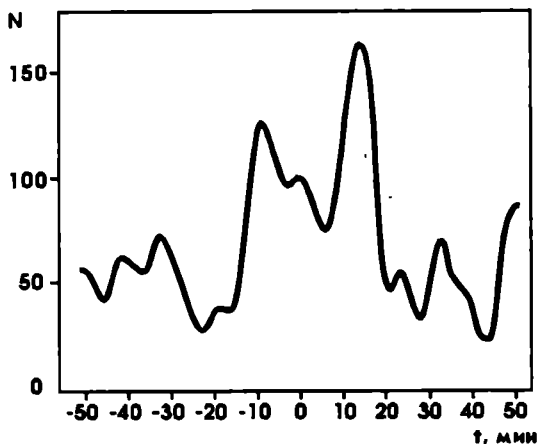
Сопоставим эти выводы с данными наблюдений. Большое количество наблюдательного материала об эффектах, связанных с движением тела в ионосферной плазме, было получено в конце 1950-х годов при наблюдениях за первыми искусственными спутниками Земли. Кратко изложим полученные результаты⁴.

Обнаружено, что прохождение спутником авроральной области (особенно радиационных поясов) и, в меньшей степени, низкоширотной ионосферы приводит к уве-

² Tribble A. C., Pickett J. S., D'Angelo N. et al. // Planet. Space Sci. 1989. V. 37. N 8. P. 1001—1010.

³ Yau A. W., Whalen B. A. // Adv. Space Res. 1988. V. 8. N 1. P. 67—77.

⁴ Подробнее см.: Radar cross section handbook. V. 2. London, 1970. P. 866.



Влияние пролета третьего советского спутника на прием радиосигнала.

N — число выбросов радиосигнала за 5-минутные интервалы времени; t — время, отсчитываемое от момента наибольшего сближения спутника с местом радиоприема. Видно, что происходит рост числа выбросов амплитуды принимаемого на Земле сигнала от наземной радиостанции, работающей на частоте 20 МГц. Интервалы — 10...—5 и 8...13 мин соответствуют прохождению спутника через авроральную зону. Кривая представляет собой суммирование по 30 пролетам спутника [по: Kraus J. D. et al. // Nature. 1960. Feb. 20].

личению интенсивности отраженного от ионосферы радиосигнала наземного радиопередатчика декаметрового диапазона, причем величина соответствующей поверхности рассеяния достигает нескольких квадратных километров. В это время декаметровый радиосигнал радиопередатчика спутника ослабевал и флуктуировал. Во многих случаях период увеличений отраженного радиосигнала совпадал с периодом кувыркания спутника. Отмечено также, что прохождение спутником авроральной области в Южном полушарии вызывает с запаздыванием 2—3 мин увеличение отраженного от ионосферы радиосигнала вблизи северной авроральной области.

Изучение спектров отраженного декаметрового радиосигнала выявило существование нескольких возможных типов спектра:

шумоподобного спектра, отстоящего по обе стороны от несущей частоты наземного декаметрового передатчика на несколько килогерц;

квазикогерентного сигнала, состоящего из звуковых компонент, перекрывающих многие сотни герц с нерегулярными параметрами;

тона 350 Гц, наложенного на основной сигнал;

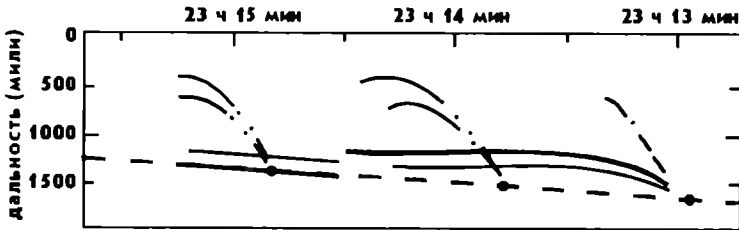
изредка встречающегося когерентного сигнала, соответствующего скорости спутника, как при отражении от «облака», движущегося вместе со спутником.

Изучение влияния пролета спутников на прохождение радиосигнала с использованием декаметровой радиолокации выявило, что в тех случаях, когда наблюдается влияние пролета спутника через авроральную зону на прохождение радиосигнала, спутник является источником «отражающих облаков», распространяющихся со скоростями от 30 до 150 км/с вдоль силовых линий геомагнитного поля. Отмечены также случаи, когда возмущение распространялось поперек геомагнитного поля.

Использование радиолокации на частоте около 100 МГц позволило установить следующее. При исследовании в умеренных широтах (США, штат Оклахома) в окрестности момента времени пролета спутника через диаграмму направленности антенны наблюдалось статистически значимое повышение количества радиолокационных отражений от ионосферы без заметного сдвига частоты с эффективной поверхностью рассеяния порядка соответствующей величины для спутника или превышающей ее. Большинство этих отражений наблюдалось, когда спутник находился в нескольких сотнях километров к югу от места зондирования. При исследовании в высоких широтах (Финляндия) большинство отражений с околонулевым сдвигом частоты также наблюдалось, когда спутник находился в нескольких сотнях километров к югу. В связи с этим было выдвинуто предположение, что возмущение, порождаемое спутником (возможно, МГД-волна), распространяется от спутника вниз вдоль силовой линии геомагнитного поля в нижнюю ионосферу.

Детальный анализ выявил⁵, что разница во времени между теми случаями, когда спутник порождает возмущение, находясь к югу от места наблюдения и к северу, составляет около 12 ч, что согласуется с предположением о влиянии ионосферных электрических токов, так как последние изменяют свое направление в данном месте каждые 12 ч. Более того, между результатами наблюдений в Оклахоме и Финляндии существовал 7-часовой фазовый сдвиг, который примерно соответствует разнице в географическом положении измерительных

⁵ Ibid.



Влияние пролета третьего советского спутника на радиолокационный сигнал. Видно, что спутник является источником неподвижных и подвижных отражающих областей.

Частота радиосигнала ~ 17 МГц; луч радиолокатора неподвижен в пространстве; ширина луча 10° , высота — 50° . Штриховая линия — траектория спутника, вычисленная по эфемердам [по: Kraus J. D. et al., 1960.].

пунктов. Радиолокационные наблюдения в Финляндии выявили также существование отражений, которые были интерпретированы как «ионный след» спутника, когда последний находился в широтах, близких к 65° с. ш., перемещаясь с запада на восток. Эти отражения обычно наблюдались в присутствии авроральной ионизации и F-рассеяния. Продолжительность отражений составляла в среднем 2,5 с, а величина эффективной поверхности рассеяния достигала 1000 м^2 . По характеру отражения напоминали зеркальные.

Часть приведенных эффектов вполне согласуется с проявлением предложенного механизма развития нижнегибридной неустойчивости. Это прежде всего относится к характеру спектра радиосигнала, отраженного от области возмущений (наличие компонент, соответствующих циклотронным частотам ионов и их гармоник, модам Бернштейна и т. п.), распространению области возмущения вдоль силовых линий геомагнитного поля, коррелирующему с направлением ионосферных токов. Тот факт, что интенсивность возмущения имела период, соответствующий периоду кувыркания спутника, также является свидетельством в пользу существования предложенного механизма. Обратим внимание, что большинство обсуждаемых экспериментальных данных получено в периоды высокой солнечной активности, когда наличие ионосферных плазменных неустойчивостей весьма вероятно.

К вышесказанному можно добавить, что образование возмущения ионосферной плазмы на расстояниях несколько сот километров вдоль силовой линии геомагнитного поля от источника — геофизической ракеты — обнаружено в условиях интенсивного F-рассеяния, характеризующегося высоким уровнем неустойчивости ионосферной плазмы⁶.

ДРУГИЕ СЛУЧАИ НЕУСТОЙЧИВОСТИ

Не все из зарегистрированных при наблюдениях за спутниками эффектов объясняются развитием нижнегибридной неустойчивости. Это относится к величинам скорости распространения возмущения (от 30 до 150 км/с), не соответствующим альфвеновским волнам, распространению поперек геомагнитного поля, существованию когерентного отражения от «облака», движущегося вместе со спутником, зеркальному отражению от следа и ряду других. Рассмотрим их несколько подробнее.

Скорости распространения 30—150 км/с характерны для магнитоионосферных волновых возмущений, которые, предположительно, обусловлены наличием нестабильного состояния ионосферной плазмы. Для них характерны независимость скорости распространения от направления. Интерпретация когерентного характера отраженного сигнала и зеркального отражения от следа спутника, что, по-видимому, есть не что иное, как разные стороны одного и того же феномена, затруднительна. Действительно, для этого требуется, чтобы величина электронной концентрации в следе спутника была не менее 10^8 см^{-3} , что на два-три порядка превышает окружающую. Мы обсудим возможную причину этого явления.

Развитие нижнегибридной неустойчивости (как, впрочем, и многих других) приводит к повышению электронной температуры плазмы. Действительно, имеются данные наблюдений, свидетельствующие о том, что в окрестности космического тела может произойти значительное увеличение электронной температуры. Об этом, в частности, говорят результаты ракетных и спутниковых зондирований ионосферы.

При ракетных зондированиях ионосферы обнаружены такие явления:

повышение температуры ионосферных электронов в следе за корпусом ракеты в авроральной ионосфере, коррелирующее с

⁶ Morse F. A., Edgar B. C., Koons H. C. et al. // J. Geophys. Res. 1977. V. 82. N 4. P. 578—592.

высыпанием частиц⁷. Сходное повышение электронной температуры в следе обнаружено и в условиях низкоширотной ионосферы⁸;

повышение электронной температуры у наветренной стороны корпуса ракеты, обусловленное, предположительно, входом ракеты в авроральную зону с большой величиной электрического поля⁹. Наиболее ярко этот эффект проявился в виде потока электронов с энергиями больше 2 кэВ, достигшего $6 \cdot 10^{10}$ эл/(см²·с·ср). Полагают, что это явление объясняется какими-то пока еще не выявленными особенностями взаимодействия космического тела с ионосферной плазмой в условиях F-рассеяния.

Надтепловые электроны могут привести к значительной добавочной ионизации среды в окрестности и в следе спутника, чем, возможно, и объясняется ряд отмеченных эффектов (зеркальные отражения от следа и др.).

Образование надтепловых электронов должно привести к возбуждению свечения среды электронным ударом. Не исключено, что этот фактор ответствен за изредка регистрируемое аномально сильное излучение спутников в инфракрасном диапазоне¹⁰. В связи с этим нельзя не упомянуть о существовании такого явления, как свечение голубых следов метеоров, которое иногда наблюдается на аномально больших высотах до 160 км, где обычно метеоры не видны¹¹. Сходное явление наблюдалось несколько раз космонавтами во время спуска с орбиты космических аппаратов «Союз». Оно заключается в появлении достаточно яркого голубоватого свечения среды в окрестности космического аппарата на высотах до 120 км, в то время как обычно наблюдается только розовое или оранжевое свечение плазмы ударного слоя¹² на высотах менее 100 км.

На высоте 120 км ударная волна перед спускаемым аппаратом еще не сформирована, однако газодинамическое возмущение, носимое спускаемым аппаратом в ионосферную плазму, уже достаточно велико

(«голубое свечение» наблюдалось в ходе спуска «Союза-10» и «Союза-23», а также некоторых других аппаратов «Союз»). После внимательного изучения опубликованных воспоминаний космонавтов удалось найти еще два случая, когда ими наблюдалось «голубое свечение» — спуск «Союза-28» и «Союза-39»¹³.

Имеется ряд признаков того, что «голубое свечение» связано с наличием неустойчивого состояния ионосферной плазмы. Об этом, в частности, свидетельствует тот факт, что спуск «Союза-28» и «Союза-39» происходил в то время, когда космонавты с орбитальной станции «Салют-6» наблюдали феномен повышения уровня свечения атмосферы Земли. Как пишут космонавты, это обычно проявляется в образовании интенсивного второго эмиссионного слоя, который может слиться с первым, а первый, в свою очередь, — с горизонтом Земли. Продолжительность этого явления может достигать месяца и более. Так, оно наблюдалось с декабря 1977 г. до момента окончания наблюдений 16 марта 1978 г.; в этот период состоялся спуск «Союза-28» (10 марта 1978 г.). Появление этого феномена было зарегистрировано и 28 марта 1981 г., т. е. за два дня до спуска «Союза-39».

Что касается спуска «Союза-10» и «Союза-23», то тогда подобные наблюдения не проводились. Однако тот факт, что это явление связано с определенными геофизическими процессами (солнечная активность и др.), которые как раз и имели место во время спуска «Союза-10» и «Союза-23», делает предположение о связи феномена «голубого свечения» с явлением аномального свечения атмосферы Земли вполне правдоподобным. В пользу этого говорит и то, что один из двух максимумов интенсивности аномального свечения атмосферы Земли приходится на район юга Аравийского п-ва¹⁴, где как раз и проходит трасса спуска «Союзов» на высотах 120—100 км.

Имеется также ряд соображений в пользу того, что феномен аномального свечения атмосферы связан с наличием неустойчивого состояния ионосферной плазмы. Так, при наземных наблюдениях в области аномального свечения наблюдается повышение критических плазменных частот, образование неоднородностей элек-

⁷ Svenes K. R., Troim J., Maehlum B. N. et al. // Planet. Space Sci. 1990. V. 38. N 3. P. 395—405.

⁸ Gurta S. P. // Adv. Space Res. 1988. V. 8. N 1. P. 225—228.

⁹ Svenes K. R., Troim J., Maehlum B. N. et al. // Planet. Space Sci. 1990. V. 38. N 5. P. 653—663.

¹⁰ Hall F. F., Jr., Stanley C. V. // Appl. Opt. 1962. V. 1. N 2. P. 97—104.

¹¹ Астапович И. С. Метеорные явления в атмосфере Земли. М., 1958; Ольховатов А. Ю. // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1990. № 12. С. 101—103.

¹² Авакян С. В., Евлашин Л. С., Коваленок В. В. и др. Наблюдение полярных сияний из космоса. Л., 1991.

¹³ См.: Ремек В. Под нами планета Земля. Воспоминания. М., 1981; Гуррагча Ж. Сердечно близкий мир. М., 1988.

¹⁴ О возможных механизмах подобных процессов см.: Ольховатов А. Ю. // Изв. РАН. Физика Земли. 1993. № 12. С. 17—21. См. также сноску¹.

тронной концентрации, а при измерениях со спутников регистрируются потоки электронов и протонов. В литературе отмечено существование, по-видимому, сходного явления — бледных «облаков», остающихся на 10—15 мин после мощных полярных сияний и похожих на светящиеся метеорные следы.

СЛУЧАЙ МОЩНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Рассмотрим теперь случай, когда при движении космического тела создаются особенно интенсивные возмущения. Обычно такое происходит при инъекции вещества в ионосферу, например, при полете болидов, работе ракетных двигателей, экспериментов по инъекции вещества в ионосферу и т. д. Отмечено, что наиболее интенсивное влияние пролета спутника на отражение от ионосферы радиоволн декаметрового диапазона наблюдалось сразу после запуска, когда происходил слив остатков топлива и дегазация конструкций¹⁵.

В настоящее время идентифицировать все конкретные механизмы развития плазменных нестабильностей под действием вышеуказанных факторов не представляется возможным, особенно если учесть, что их эффективность, как правило, сильно зависит от высоты. Вот как описывали очевидцы полет Томского болида 1984 г.: «По темному небу вдруг побежали яркие всполохи. Из них вырвался добела раскаленный шар с огненным шлейфом...»¹⁶ Примерно аналогичное явление отмечено во время падения болида в Телеутское озеро в 1904 г., когда по небу распространились сопровождаемое электрофонными звуками красное свечение, которое затем пожелтело¹⁷.

Космонавтами отмечено¹⁸, что прохождение атмосферы болидом или космическим аппаратом способно приводить к появлению распространяющихся волн свечения атмосферы. Отметим, что аналогичный феномен может иметь место и при запуске космического аппарата. Так, включение двигателей ориентации на высоте около 100 км во время запуска «Шаттла» 30 августа 1983 г. привело к тому, что, по воспоминаниям астронавтов, они примерно на 15 с оказались как бы погруженными в огненный

шар¹⁹. По наблюдениям с земной поверхности, этот запуск вызвал зареподобное свечение неба, видимое на горизонте на расстояниях до 600 км и более от места старта. Так как в ходе этого запуска наблюдались и другие аномальные явления, а через несколько дней спуск космоплана в атмосфере вызвал феномен свечения следа, сходный со свечением метеорных следов, то, вероятнее всего, большая величина эффекта была вызвана нестабильным состоянием ионосферной плазмы в тот период, а вышеперечисленные явления есть не что иное, как интенсивные магнитоионосферные волновые возмущения.

По всей видимости, о сходных оптических эффектах идет речь и в публикации²⁰, где указывается, что иногда встречаются необычные ситуации, при которых факел ракетного двигателя как бы полностью «окутывает» космический аппарат. Имеются и другие свидетельства о том, что в подобных случаях существенна роль развития плазменных нестабильностей. Об этом, в частности, говорят результаты серии запусков ракет «Сатурн-1», когда в ряде случаев при радиосвязи с ракетой на некоторых высотах ионосферных высот имело место аномальное ослабление и флуктуации радиосигнала на частотах до 8 ГГц²¹. Анализ ситуации показал, что эти эффекты обусловлены, по-видимому, каким-то взаимодействием между факелом ракетного двигателя и ионосферной плазмой. Между тем имеющиеся результаты наблюдений позволяют конкретизировать вид этого взаимодействия. Так, из сопоставления величин ослабления радиосигнала на частотах 250 МГц и 8 ГГц²² следует, что ослабление не может быть обусловлено только поглощением радиоволн, так как для этого требуются частоты столкновений электронов в окружающей ионосферной плазме порядка 10^{11} с⁻¹, что намного больше реальных значений. Вместе с тем результаты наблюдений согласуются с предположением о роли рассеяния радиосигнала на интенсивной мелкомасштабной плазменной турбулентности, генерируемой при взаимодействии выхлопного газа ракетного двигателя (почти чистый H₂O) с ионосферной плазмой в нестабильном состоянии. Об этом говорят следующие факты.

¹⁵ Kraus J. D., Higgy R. C., Crone W. R. // Proc. IRE. 1960. V. 48. N 4. P. 672—678.

¹⁶ Бронштэн В. А., Гребенников В. С., Рабунский Д. Д. Каталог электрофонных болидов // Актуальные вопросы метеоритики в Сибири. М., 1988. С. 158—204.

¹⁷ Кринов Е. Л. Вестники Вселенной. М., 1963.

¹⁸ Авакян С. В., Евлашин Л. С., Коваленок В. В. и др. Наблюдение полярных сияний из космоса.

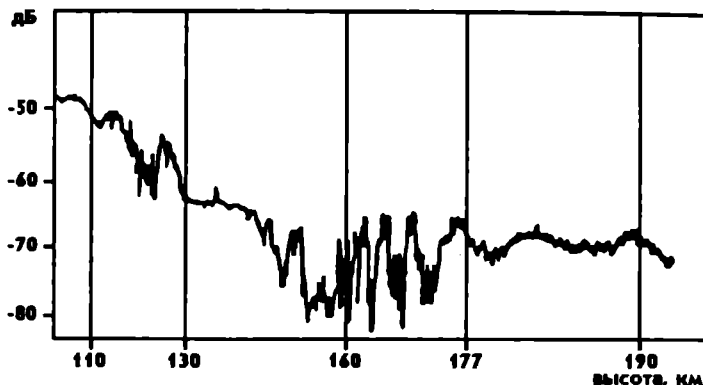
¹⁹ Covault C. // Aviation Week and Space Technology. 1983. V. 119. N 10. P. 21—23.

²⁰ Covault C. // Aviation Week and Space Technology. 1991. V. 134. N 9. P. 46—49.

²¹ Baghdady E. J., Ely O. P. // Proc. IEEE. 1966. V. 54. N 9. P. 1134—1146.

²² Ibid.

Зависимость уровня радиосигнала (дБ), принимаемого на Земле с борта ракеты «Сатурн-1» от высоты полета. Частота радиосигнала 250 МГц. Видны ослабления и флуктуации радиосигнала на высотах 110—130 и 160—180 км (в других запусках встречаются и на высотах 215—240 км). Эффект наблюдался только при распространении радиосигнала через область факела ракетного двигателя. Влияние его выхлопных газов на радиосигнал пренебрежимо мало, что подтверждается результатами других запусков [по: Badhedy E. J., Ely O. P. // Proc. IEEE. 1966. V. 54 N 9].



В низкоширотной ионосфере, где производились запуски, плазменная турбулентность наиболее часто регистрируется с борта геофизических ракет как раз на тех высотах, на которых наблюдалось упоминавшееся уже аномальное поведение радиосигнала.

Из результатов ионосферных зондирований в ходе одного из таких запусков, в котором наблюдалось аномальное поведение радиосигнала, следует, что запуск ракеты привел к появлению F-рассеяния и слоя E_s , причем их области расширились со скоростями, характерными для магнитоионосферных волновых возмущений²³.

Кроме того, проведенная автором в приближении геометрической оптики оценка параметров генерируемой плазменной турбулентности, способной создавать наблюдавшиеся флуктуации радиосигнала, показала, что они характерны для F-рассеяния средней интенсивности.

По всей видимости, наличие нестабильного состояния ионосферной плазмы сыграло большую роль в явлениях, подобных Петрозаводскому феномену 1977 г., где наблюдалось квазипериодическое свечение неба значительной пространственной протяженности²⁴, при полете «Аполлона-8» к Луне²⁵ и в феномене продолжительного свечения метеорных и других следов²⁶.

В заключение рассмотрим еще один

аспект развития интенсивных плазменных нестабильностей, связанных с появлением достаточно редкого феномена, так называемых «черных» полярных сияний — областей ионосферы, где свечение среды слабее не только свечения соседних областей, но даже слабее свечения фона²⁷. Более того, по наблюдениям очевидцев, отмечены случаи ослабления блеска звезд при прохождении их света через область «черного» полярного сияния. Как представляется, феномен «черной» авроры имеет непосредственное отношение к обнаруженным в лабораторных условиях явлениям образования темных сгустков в неравновесной плазме²⁸. Установлено, что эти сгустки ослабляют проходящее через них лазерное излучение видимого и инфракрасного диапазонов.

Подводя итоги, отметим, что наличие нестабильного состояния ионосферной плазмы играет значительную роль в процессах взаимодействия космического тела с ионосферной плазмой и может привести к самым разнообразным эффектам, причем в некоторых случаях — общепланетарного характера.

²⁷ Kornilova T. A., Chernouss S. A., Pudovkin M. I. Black Auroras. // Полярные геомагнитные возмущения и связанные с ними явления. Апатиты, 1989. С. 91—95.

²⁸ Гридин А. Ю., Климов А. И., Федотов А. Б. Структура долгоживущих плазменных тороидальных вихрей // Шаровая молния. М., 1991. С. 65; Маныкин Э. А., Шахпаронов И. М. Лабораторный аналог шаровой молнии черного цвета // Там же. С. 68—69.

²³ Felker J. K., Roberts W. T. // J. Geophys. Res. 1966. V. 71. N 19. P. 4692—4694.

²⁴ Авакян С. В., Коваленок В. В. Неопознанные явления — «проделки» плазмы? // Природа. 1992. № 6. С. 72—77.

²⁵ Kung R. T. V., Cianciollo L., Myer J. A. // AIAA Journ. 1975. V. 13. N 4. P. 432—437.

²⁶ О некоторых возможных причинах появления в подобных случаях нестабильного состояния ионосферной плазмы см.: Ольховатов А. Ю. // Изв. РАН. Физика Земли. 1993. № 12. С. 17—21.

Включения в гранитах

М. В. Лучицкая

Геологический институт РАН
Москва

ГРАНИТЫ, составляющие значительную часть континентальной земной коры, несут важную информацию о ее становлении. Неудивительно поэтому, что проблема происхождения гранитной магмы волновала геологов еще в ту пору, когда геология только зарождалась как наука. В настоящее время ведущая роль в исследовании петрологии гранитов, образования и эволюции гранитной магмы принадлежит включениям. Основные вопросы, связанные с включениями в гранитах, изложены в книге «Включения и гранитная петрология», вышедшей в 1991 г. под редакцией Ж. Дидье и Б. Барбарина¹. Опираясь на данные, содержащиеся в этом труде, рассмотрим различные аспекты петрологии гранитов.

Изучая включения в гранитах, можно узнать и о способе перемещения гранитной магмы, и о природе вмещающих граниты пород, и об относительном возрасте сосуществующих гранитоидов. Кроме того, с помощью включений судят о динамике процессов, происходящих в магматической камере при остывании плутона, типах взаимодействия магм, а также о происхождении самих гранитных магм.

Но прежде чем погружаться во все эти проблемы, коротко остановимся на терминологии. Французский термин «enclave» (включение) был предложен А. Лакруа в 1890 г. для описания фрагментов пород, заключенных в однородной магматической породе. При изучении вулканических пород Центрального французского массива Лакруа разработал номенклатуру включений, которую впоследствии распространил и на интрузивные породы. Однако его терминология оказалась столь сложной, что в дальнейшем не была подхвачена другими геологами.

Во французской геологической литературе со времен Лакруа существует четкое разделение терминов. С одной стороны, это упомянутый выше термин «enclave», касающийся фрагментов одной породы, заключен-

ных внутри другой. И с другой стороны, термин «inclusion», которым обозначают микроскопические включения минеральных зерен, жидкостей или газов в кристаллах. В англоязычной литературе термин «inclusion» применяют в обоих случаях. В дальнейшем изложении автор будет пользоваться термином «включение» в значении «enclave».

Если следовать Ж. Дидье, то все включения в гранитах можно разделить на семь типов (табл.): ксенолиты; ксенокристы; слюдяные включения; шлиры; кислые мелкозернистые включения; основные мелкозернистые включения; кумулятивные включения, или автолиты. Однако не следует забывать, что деление это весьма условно. Например, такие термины, как «ксенолит» и «автолит» имеют генетический смысл («ксенолит» обозначает включение чужеродной породы, захваченной по пути продвижения гранитной магмой, а термин «автолит» подразумевает, что включения когенетичны, т. е. имеют единое происхождение с вмещающей гранитной породой). Термин же «шлиры», например, несет морфологическую нагрузку: его применяли в древности немецкие горняки для описания удлиненных лентообразных включений, имеющих с вмещающим гранитом не очень четкие границы.

Такие включения, как ксенолиты, обычно легко определить при полевых исследованиях: они имеют угловатую форму, резкий контакт с вмещающими породами, и их текстура отражает перекристаллизацию под действием контактового метаморфизма на границе с внедряющимися гранитными массами. В большинстве случаев ксенолиты обильны в краевых частях интрузивов, особенно около их кровли.

Ксенокристы представляют собой единичные чужеродные (не характерные для данной гранитной магмы) кристаллы, захваченные при ее продвижении. При их описании обычно упоминают состав основного минерала, образующего ксенокрист, например кварцевый ксенокрист. Так же как и ксенолиты, ксенокристы подвергаются перекристаллизации. Они «разъедаются» гранитной магмой и никогда не бывают идиоморфными, т. е. имеющими правильную

© Лучицкая М. В. Включения в гранитах.

¹ Enclaves and granite petrology. Amsterdam — Oxford — New York — Tokyo, 1991.

Таблица

Различные типы включений в гранитах

Включения	Природа	Характер контакта	Форма	Характерные черты
Ксенолит	Фрагмент вмещающей породы (роговик)	Четкий, резкий	Угловатая	Контактово - метаморфическая текстура и минеральные ассоциации
Ксенокрист	Изолированный инородный кристалл	Четкий, резкий	Сферическая	Коррозионные реакционные ореолы
Слюдяные	Остаток от плавления субстрата при образовании гранитной магмы	Четкий, резкий с оболочками из биотита	Лентообразная	Метаморфическая текстура, наличие слюд и высокоалюминиевых минералов
Шлиры	Дезинтегрированные включения	Постепенный	Уплощенная	Плоскостные ориентировки
Микрозернистые кислого состава	Дезинтегрированные фрагменты контактовой оболочки плутона	Четкий, резкий или постепенный	Овоидная	Мелкозернистая магматическая текстура
Микрозернистые основного состава	«Капли» сосуществующей более основной магмы	Преимущественно четкий, резкий	»	Мелкозернистая магматическая текстура
Кумулятивные (автолиты)	Фрагменты кумулятов	Преимущественно постепенный	»	Крупнозернистая кумулятивная текстура

форму. Если они и не полностью растворены, то обязательно окружены реакционными каймами.

Слюдяные включения обычно встречаются в тех областях, где граниты тесно связаны с такой разновидностью метаморфических пород, как мигматиты. Эти включения обычно имеют небольшой размер (несколько сантиметров длиной) и лентообразную форму. Они состоят преимущественно из темноцветной слюды — биотита — и, кроме того, часто содержат белую слюду — мусковит, а также другие высокоглиноземистые минералы (силлиманит, андалузит, кордиерит, корунд, шпинель, гранат). В полевых условиях слюдяные включения легко определить по биотитовой оторочке. Обилие тугоплавких минералов в этих включениях позволяет рассматривать их как реститы, т. е. тугоплавкий остаток, возникший при выплавлении гранитной магмы.

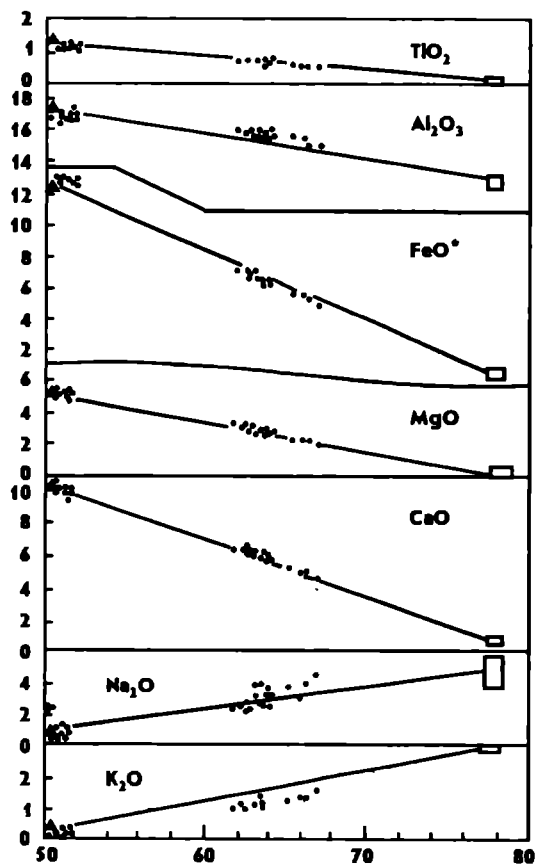
Но особенно часто в гранитах встречаются микрозернистые включения. Они отличаются от вмещающих гранитов более основным составом и более мелкозернистой структурой.

По размеру микрозернистые включения варьируют от нескольких сантиметров до нескольких дециметров, достигая иногда 1 м и более. Контакт включений с вмещающей породой в большинстве случаев резкий. Включения обычно имеют округлую или овальную форму, что, скорее всего, обусловлено деформацией при внедрении гранитной магмы².

Состав микрозернистых включений может быть как кислым, так и основным, хотя включения кислого состава встречаются очень редко. Обычно микрозернистые включения имеют тот же состав, что и вмещающие их граниты, но более мелко раскристаллизованы. Принято считать, что это фрагменты ранее застывшей закалочной «корочки», взломанной и захваченной при дальнейшем подъеме гранитной магмы.

Включения кислого состава, как правило, присутствуют только в верхних частях гранитных плутонов, залегающих относительно неглубоко. Микрозернистые включения

² Didier J. // Geol. Rundsch. 1987. V. 76. P. 41—50.



Состав базальта, риолитов и содержащихся в них включений (о. Ниджима, Япония; по данным Т. Коягуши, 1991). FeO* — общее содержание оксидов железа.

- ▲ Базальт
- , ○ включения в риолитах
- Поле, отражающее состав риолитов

основного состава отличаются от вмещающих их гранитов немного более основным химическим составом и близки к ним по минеральному составу.

Интересно, что при изучении микрозернистых включений были разработаны почти все гипотезы происхождения гранитной магмы: реститовая модель (Б. Чэппелл, А. Уайт); модель смешения двух магм — магмы гранита и магмы основного состава (Р. Вернон, Т. Коягуши, Б. Барбарин, М. Хиббард, А. Виб и др.); автолитовая модель (Г. Ферштатер, Н. Бородин; Б. Платево, Б. Бонин; Дж. Бебиен).

Согласно реститовой модели Чэппелла и Уайта, включения представляют собой тугоплавкий остаток от выплавления гранитной магмы. По их мнению, большинство гранитных магм образовалось при частичном плавлении земной коры. Различная степень плавления источника (коры, в данном случае) и, соответственно, различное сочетание количеств рестита и образующегося гранитного расплава и объясняют, по мнению этих исследователей, все разнообразие гранитных пород. Кроме того, данный процесс обуславливает наличие единого линейного тренда для серии гранитных пород каждого конкретного района.

В 1874 г. Чэппелл и Уайт описали два типа гранитов, характерных для складчатого пояса Лехлан в Австралии и назвали их S- и I-гранитами³. Происхождение этих гранитов они связывают с плавлением источника, состоящего из осадочных, кислых магматических и метаморфических пород (S-граниты) и основных пород (I-граниты). Для каждого типа гранитов характерен свой набор включений. S-граниты содержат богатые биотитом слюдяные включения (те же, что и в классификации Дидье), а также фрагменты высокометаморфизованных метаморфических пород и богатые ортопироксеном породы. Так как породы, характерные для включений, не встречаются среди пород, вмещающих S-граниты, а также среди сосуществующих с ними I-гранитов, то остается предположить, что включения были вынесены гранитной магмой из области ее формирования.

В I-гранитах чаще всего встречаются мелкозернистые включения, содержащие роговую обманку. Поскольку включения присутствуют в самых разных частях гранитного плутона и к тому же во вмещающих граниты породах не встречаются основные породы типа габбро, можно говорить о захвате включений гранитной магмой непосредственно в области источника. Дополнительным доказательством реститовой модели образования гранитов можно считать наличие в них «древних» цирконов, представляющих, по мнению Чэппелла и Уайта, материал источника.

Реститовая модель Чэппелла и Уайта имеет несколько следствий. Во-первых, для гранитных серий, к которым эта модель приложима, удастся рассчитать состав источника, расплава и рестита и таким образом проследить эволюцию гранитной магмы. Во-вторых, эта модель позволяет объяснить значительно-

³ Chappell B. W., White A. J. R. // Pacific geol. 1974. N 8. P. 173—174.

ные концентрации некоторых элементов в гранитах, противоречащие, на первый взгляд, их низкой растворимости в гранитных расплавах. Например, большая часть легких редкоземельных элементов (РЗЭ) накапливается в кристаллах реститового монацита, поэтому породы, содержащие такие кристаллы, обогащены легкими РЗЭ. В-третьих, из реститовой модели следует, что отделяющиеся от твердого источника гранитные магмы продвигаются в верхние горизонты коры в виде совокупности расплава, включений и реститовых минералов.

Совсем иная картина образования гранитной магмы следует из модели смешения. Согласно этой модели, включения первоначально попадают в гранитную магму в виде скоплений магмы более основного состава, а затем кристаллизуются совместно с гранитами. Магма, из которой образовались включения, имела гибридный состав, поскольку она возникла при смешении кислой и основной магм. Наиболее последовательно такую магматическую природу включений доказывает Вернон, базирующийся в своих работах на микроструктурных данных.

Вернон отмечает, что включения имеют мелкую- и среднезернистую структуру, похожую на структуру магматических пород типа даек. Форма минералов часто удлиненная идиоморфная, что также характерно для магматических пород. Плаггиоклаз присутствует в виде фенокристов и удлиненных лейст в составе основной массы, причем он обладает зональностью, отражающей историю роста кристаллов. Закалочные каймы некоторых включений указывают на их быструю кристаллизацию при попадании более основной магмы в магму гранитную. Кроме того, некоторые включения обладают флюидальной текстурой, характерной для магматических пород.

Относительно мелкий размер зерен во включениях соответствует высокой скорости нуклеации (образования «зародышей» роста) зерен и низкой скорости их дальнейшего роста. Такие условия достигаются при попадании более нагретой магмы включений в гранитную магму. Затем температура магмы включений резко снижается до температуры гранитной магмы. При этом происходит быстрая кристаллизация минералов, которыми насыщена магма включений. Обычно на этой стадии образуются плаггиоклаз, ортопироксен и биотит. В вулканических породах часть магмы включений остается нераскристаллизованной в виде стекла между образовавшимися кристаллами.

На следующем этапе включения начинают остывать и кристаллизоваться с той

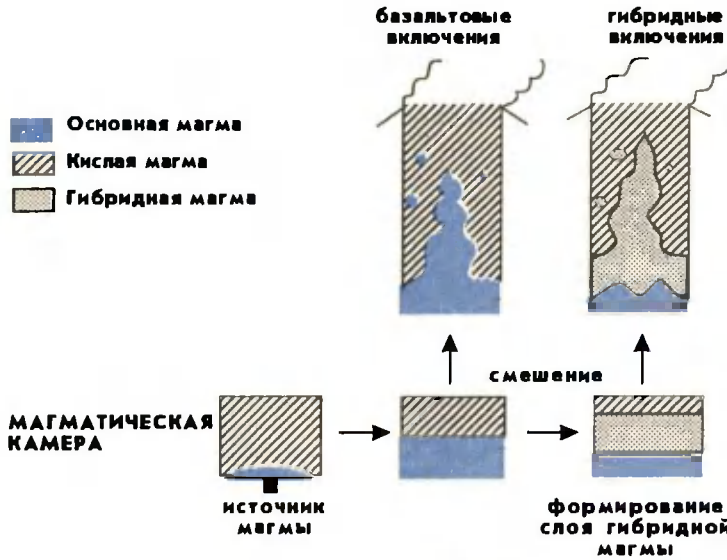
же скоростью, что и гранитная магма. Происходит это при более низкой температуре. Минералы, образующиеся на этой стадии, имеют более низкие скорости нуклеации зерен и большую скорость роста. К ним относятся кварц и калиевый полевой шпат. Они образуют крупные кристаллы, которые включают в себя более мелкие ранее образованные кристаллы (пойкилитовая структура). На этом этапе при медленном остывании магмы включения и вмещающий их гранит обмениваются элементами, этим-то и объясняется близость составов образующих их минералов.

Микроструктурным доказательством смешения магм при образовании хотя бы части включений в гранитах Вернон считает наличие кварцевых ксенокристов, или «глазков»; крупных кристаллов калиевого полевого шпата с каймой из зерен плаггиоклаза («структура рапакиви») или без нее; прерывистости в зональности плаггиоклаза. Он предполагает, что эти минералы попали в более основную магму включений из частично раскристаллизованной гранитной магмы в области их смешения. Кварцевые ксенокристы — «глазки» — очень характерны для таких включений. Обычно они окружены тонкой каймой из мелких зерен темноцветных минералов. Такие же каймы имеются вокруг кристаллов кварца в базальтах и долеритах.

Крупные кристаллы калиевого полевого шпата часто соседствуют с микрозернистыми включениями в гранитоидах, которые, в свою очередь, содержат такие же мегакристы. Раньше было принято считать, что мегакристы во включениях образуются уже в твердом состоянии под влиянием поступающих из гранитной магмы растворов. Однако многие мегакристы во включениях имеют тонкую оболочку, по составу аналогичную основной массе включений, что интерпретируется Верноном как «налипание» частично расплавленной массы на мегакрист при смешении магм. Таким образом, мегакристы попали во включения, когда последние представляли собой магматический расплав, а не твердое застывшее тело.

Кристаллы плаггиоклаза во включениях и вмещающих их гранитоидах, как уже отмечалось, имеют сложную и прерывистую зональность. Это может быть связано как с растворением, так и с изменением состава при смешении магм.

Процесс смешения магм различного состава при образовании включений хорошо изучен на примере вулканических пород японским исследователем Т. Коягуши, который сосредоточил свое внимание на включе-



Двухстадийная модель смешения кислой и основной магм [по Т. Коягуши, 1991]. После внедрения магмы в магматическую камеру происходит ее расслоение на кислую и основную (I стадия). Затем разные по составу магмы смешиваются, образуя так называемую гибридную магму (II стадия). Состав включений в гранитных породах зависит от времени извержения.

ниях в лавах среднего и кислого состава из четвертичных вулканов Японии. Для последних характерна близкая ассоциация во времени и пространстве кислых и основных лав: включения в лавах кислого (риолитового) состава имеют средний (дацитовый) состав. Петрографические характеристики включений доказывают, что они образовались при смешении магм базальтового (основного) и риолитового (кислого) составов. Например, включения содержат одновременно оливин и кварц, т. е. минералы, характерные для разных пород, которые не должны встречаться вместе.

Коягуши предлагает двухстадийную модель смешения магм при образовании дацитовых включений в риолитовых лавах. На первой стадии основная магма внедряется в магматическую камеру, заполненную кислой магмой, и заполняет ее нижнюю часть. На этой стадии происходит частичное механическое перемешивание двух магм и образуется гибридная дацитовая магма. На второй стадии идет дальнейшее перемешивание магм во время их подъема к земной поверхности непосредственно перед извержением. В момент извержения дацитовая гибридная магма присутствует в виде включений в кислой магме.

Большое количество и разнообразие типов включений характерно для гранитных батолитов Северной и Южной Америки. Микроструктурные включения, о которых шла речь, имеют наибольшее распространение. По составу эти включения более основные, чем вмещающие их граниты. Они относятся

к группам диоритов, кварцевых диоритов, тоналитов и гранодиоритов. Включения имеют округлую форму, магматическую структуру и обычно окружены закалочными каймами.

Б. Барбарин предполагает, что формирование включений и вмещающих их гранитов связано не только со смешением кислой и основной магм, хотя этот процесс является не переменным, но и с другими процессами, такими как частичное плавление и фракционирование (изменение состава) магм. Высокотемпературная основная магма, поступающая из верхней мантии в нижнюю часть земной коры, вызывает частичное плавление корового материала и образование кислой магмы. При взаимодействии новых порций основной магмы и новообразованной кислой магмы получается гибридная магма, которая начинает кристаллизоваться уже на глубине. Минералы, кристаллизующиеся в первую очередь, называются кумулятами. При подъеме магм к поверхности слой этих минералов может взламываться и попадать в жидкую магму в виде «кумулятивных» включений. При подъеме магм происходит перемешивание новых порций основной, гибридной и кислой магм, причем состав последней непрерывно изменяется. Все это обуславливает большое разнообразие включений в батолитах.

Существует еще одна модель образования включений в гранитах, называемая автолитовой. Эта модель разработана российскими геологами Г. Ферштатером и Н. Бородиной на примере габбро-гранитных ин-

трузивных серий Урала. Включения рассматриваются в этой модели как фрагменты наиболее ранних дифференциатов единой гранитной магмы, т. е. первые раскристаллизовавшиеся порции магмы. Когда в магматическую камеру поступает новая порция магмы, последняя «взламывает» уже затвердевшие слои и захватывает их в виде включений при своем продвижении в более высокие горизонты земной коры.

Итак, краткий обзор моделей образования включений и гранитной магмы показывает, что процесс их формирования отличается сложностью и многоступенчатостью и вряд ли может быть исчерпывающе описан в рамках какой-то одной модели. И хотя в каждой модели делается упор на различные типы включений в гранитах, выводы при этом зачастую оказываются диаметрально противоположными. Таким образом, изучение включений в гранитах и выяснение их роли в процессе становления гранитной магмы безусловно будет продолжено.

В настоящее время включения исследуют как макроскопическими, так и микроскопическими методами. Задача первых — определить форму и размер включений, выяснить характер их контакта с вмещающими породами, а также особенности распределения включений в гранитах. Изучение под микроскопом позволяет установить минеральный состав, микроструктуру и текстуру включений. Анализ петрохимии и геохимии включений и гранитов помогает понять, как эволюционировал состав магм. Особенно большая роль отводится сейчас изучению изотопных характеристик включений и вмещающих их гранитов, в частности руби-

дий-стронциевым и самарий-неодимовым методам, позволяющим установить общность или различие их происхождения.

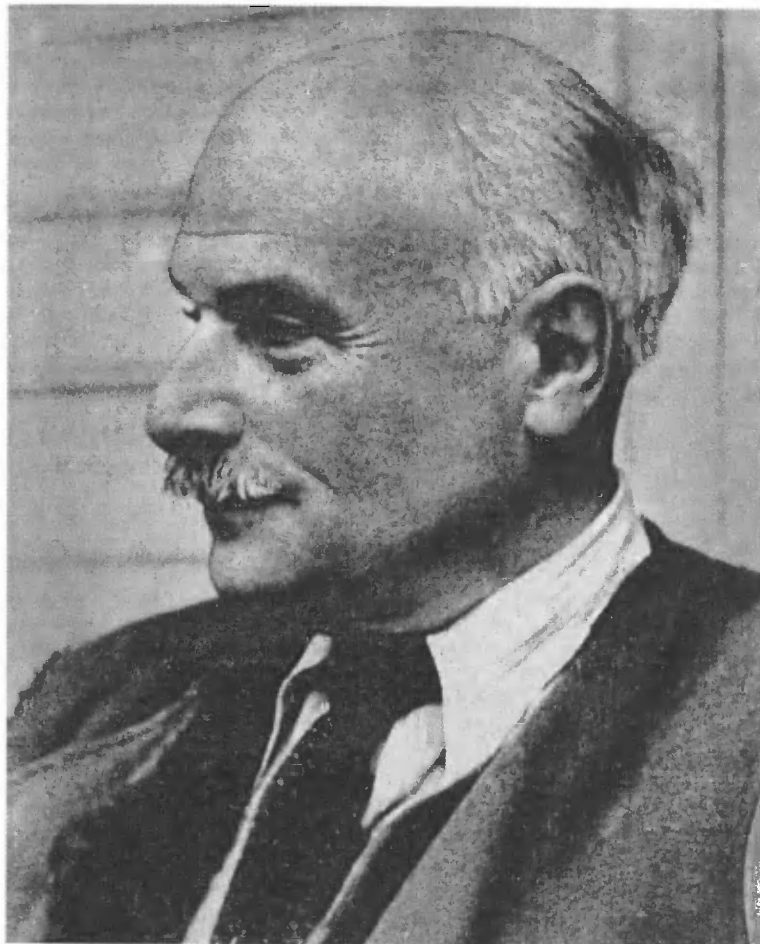
В заключение нужно хотя бы в общих чертах обрисовать тот круг вопросов, которые удалось решить за последние годы, изучая включения в гранитах.

Во-первых, были выявлены ксенолиты с роговиковой структурой, возникшей под влиянием высокотемпературной гранитной магмы. Их присутствие указывает на то, что гранитоиды кристаллизуются из горячей магмы, внедряющейся в среднюю или верхнюю кору. Во-вторых, по составу ксенолитов была получена косвенная информация о составе пород, которые они прорывают. Так, наличие микрозернистых включений кислого состава свидетельствует об интрузивном характере гранитоидов: эти включения характерны для малоглубинных плутонов, внедрившихся в верхнюю кору. Включения же одних гранитов в других позволили установить относительный возраст их внедрения в зональных плутонах или крупных батолитах гранитных поясов. По наличию довольно редких автолитовых включений можно судить о нарушении кумулятивных (т. е. ранее других закристаллизовавшихся) слоев в магматической камере. Присутствие же реститовых включений указывает на коровое происхождение гранитов: т. е. на их образование в результате частичного плавления коры.

Наиболее проблематичным остается происхождение микрозернистых включений основного состава, о которых в основном и шла речь в этой статье. Но большинство исследователей полагают, что такие включения являются продуктами гибридной магмы, возникшей при смешении магм основного и кислого состава.

Цитолог Григорий Иосифович Роскин

В. Д. Каллиникова,
доктор биологических наук
Московский государственный
университет им. М. В. Ломоносова



ГРИГОРИЙ ИОСИФОВИЧ РОСКИН
(25.VII 1892—16.III 1964)

Фото 50-х годов

Прошло чуть более 100 лет со дня рождения и ровно 30 лет со дня смерти профессора Московского университета Григория Иосифовича Роскина, чье имя известно старшему поколению главным образом в связи со сталинскими репрессиями и созданием круцина — оригинального противоракового препарата. О сложной, почти трагической судьбе круцина мы уже рассказывали в публикациях, посвященных В. В. Парину (Природа. 1988. № 12. С. 83—90). Однако научная деятельность Роскина выходит далеко за рамки онкологии и сегодня мало кому знакома.

В СЕМЬЕ присяжного поверенного Московской судебной палаты Иосифа Григорьевича Роскина, отличавшегося своей абсолютной неподкупностью, было три сына. Старший, Владимир, стал художником. Он дружил с Маяковским, работал в «Окнах РОСТА», стоял у истоков нашего декоративного искусства, оформил около 30 советских выставок в стране и за рубежом. За такую выставку 1937 г. в Париже он был удостоен Гран-при, но верные служки бдительности так и не позволили художнику получить эту почетную награду. Средний, Александр, — литературовед, посвятил себя изучению творчества Чехова. Подобно многим другим москвичам-интеллигентам, он в самом начале войны пошел в ополчение и скоро попал в плен. Как писал К. Паустовский, нашелся предатель, выдавший немцам национальность Александра Иосифовича. На этот случай у писателя был приготовлен цианистый калий, который и спас его от истязаний и казни.

В судьбе третьего брата, биолога Григория, наиболее отчетливо отразился социальный колорит нашей недавней отечественной истории.

УЧИТЕЛЯ И УЧЕНИК

Григорий Иосифович Роскин родился 25 июля 1892 г. в Москве. В 1908 г. окончил знаменитое реальное училище Фидлера в Москве, а затем учился параллельно в двух высших учебных заведениях: в Московском коммерческом институте и на естественном факультете Университета Шанявского. Интерес к биологии проявился рано и очень определенно. И хотя студент Роскин окончил Коммерческий институт со званием инженера, свою дипломную работу с особым разрешения ученого совета он выполнил по кафедре зоологии у профессора Н. М. Кулагина.

Научная деятельность Роскина началась в лаборатории экспериментальной биологии Университета Шанявского под руководством Н. К. Кольцова, который оказал большое влияние на интересы и формирование начинающего исследователя. После окончания университета Роскин уехал во Францию, где в течение года специализировался по цитологии и протистологии в Университете Монпелье у О. Дюбоска и Е. Шаттона — мировых корифеев протозоологии.

И ум и сердце молодого ученого были широко распахнуты навстречу науке.



Студент Коммерческого института. Москва. 1911 г.

На обложке его французского дневника значится: «Начато при добрых намерениях записывать со вниманием все достойное внимания, что увижу и услышу на лекциях в Университете Монпелье». Язык не был препятствием: слушатель уже тогда настолько владел им, что не только без труда понимал, но и записывал лекции по-французски.

Курс по цитологии бактерий и водорослей, который читал М. Павильяр, молодой слушатель из России оценил как «прекрасный», курс по паразитологии и специально по паразитическим простейшим известного протозоолога О. Дюбоска «прослушан с удовольствием и по возможности записан», лекции по протозоологии Б. Коллена назван «весьма неровным». Услышанное и увиденное не только записано, но и сопровождается прекрасными тонкими рисунками, что так важно для протозоолога и цитолога, а также для будущего лектора.

Из Франции Роскин привез солидный багаж знаний, интерес к простейшим (а тем самым и к клетке), усовершенствованный французский язык и, видимо, неповторимый шарм, который был свойствен ему до последних дней жизни.

В конце 1913 г. Григорий Иосифович



Начинающий биолог.
1912 г.

«Птенцы гнезда Кольцова». В первом ряду в центре — Н. К. Кольцов, во втором ряду слева: первый — Г. И. Роскин, третий — С. С. Четвериков.

вернулся в лабораторию экспериментальной биологии к Кольцову. Вскоре началась и его педагогическая деятельность на кафедре зоологии медицинского факультета II Московского университета; на кафедрах экспериментальной зоологии и биологии I Московского университета, куда он получил рекомендации для работы от Н. К. Кольцова, В. А. Догеля, а также О. Дюбоска.

Рабочий дневник 1920—1930 гг. начинался с эпиграфа: «С ясною душою к открытому морю...» Какой замечательный портрет ученого вырисовывается из этого сугубо личного документа! Конкретные планы на каждый квартал, их выполнение и оценка сделанного. Список задуманных тем насчитывает более 30 пунктов. Объекты — различные простейшие и беспозвоночные, вопросы — сократимые элементы и скелет клетки, а по существу — большие проблемы и среди них главная — форма живого, которую ученый определяет как «в мгновение зафиксированную текучесть». Задумываются широкие темы: «Форма клеток *en general*», «Цитология и эволюционизм», разрабатывается план совместной с Кольцовым книги «Основы цитологии», обсуждается создание протистологической лаборатории и нового большого практикума по цитологии с учетом достижений экспериментальной биологии и генетики.

Лейтмотив дневника — предельная требовательность к себе: «Работать усиленно, чтобы оправдать год», «Неизменно и неуклонно осуществлять план работы», «Усилить контроль над собой», «Педагогику подтянуть!», «Читать и читать!». Самооценки не-

высокие: «...работал средне», «почти удовлетворительно (3—)».

Это были годы не только интенсивной работы, но и активного формирования ученого и его личности. «Сознание своей зрелости» пришло в 28 лет. После поездки на Мурманскую биологическую станцию в 1929 г. «проснулось чувство натуралиста». Эта поездка названа самым плодотворным периодом за три года и впервые собственная деятельность оценена на «пять». В лучших традициях отечественной культуры мысли ученого выходят за пределы специальности и сливаются с проблемами социальными. В дневнике он писал: «Наука (большая) как воспитательное средство, без чего она не становится полным фактором культуры».

Его учителя — Кольцов, Дюбоск, Шаттон, а также вся русская школа биологов привили молодому ученому широкий взгляд на природу, что позволило ему по достоинству оценить одноклеточный уровень организации живого, увидеть здесь истоки многих биологических явлений, ценнейший материал для сравнительного анализа, ключи к пониманию основ жизни. Клетка-организм — тут природа испытывает максимальные возможности клетки — это было одной из основополагающих идей его будущего курса цитологии.

ПРОТОЗООЛОГ И ЦИТОЛОГ

Первые публикации Роскина посвящены проблемам протозоологии — науки о простейших, одноклеточных организмах.



Эта обширная область биологии пережила в начале века бурный расцвет. Именно тогда были расшифрованы жизненные циклы многих видов, успешно изучалась их тонкая морфология¹. В 1921 г. создается Русское протистологическое общество, одним из учредителей и членом совета которого был Роскин.

Две первые работы Роскина о сократимых мионемах инфузории и псевдоподиях (аксоподиях) солнечника¹ позднее дополнились исследованиями жгутов простейших, хватательных палочек сосущих инфузорий. К 1922—1923 гг. был собран обширный материал для анализа сократительных и скелетных элементов Protozoa и более высоко организованных животных, на основе которого сформировалось новое представление об организации сократимых элементов животного, о сочетании в них жидкой сократимой кинеплазмы со «скелетными нитями», что позже в значительной мере подтвердилось электронной микроскопией.

Работу Роскина по цитологии *Trypanoplasma dahlia* сегодня во многом можно рассматривать как пророческую². Уже тогда автор сумел увидеть важнейшие свойства кинетопласта (как выяснилось позже, «нуклеоида»

особой единой митохондриальной системы большой группы жгутиковых простейших): его значительную базофилию (окраску основными красителями), неоднородное, непостоянное и отличное от ядра окрашивание, а также нередкое продолжение его в цитоплазму в виде отростка. Роскин одним из первых стал применять новый цитохимический метод выявления ДНК — реакцию Фельгена, что позволило ему одному из первых доказать наличие в кинепласте ДНК (тогда называлась тинонуклеиновой кислотой).

С помощью этого метода в 1928—1931 гг. выполнены ювелирные по своей тонкости исследования по кариологии жгутиковых³. Метод Фельгена выявил своеобразие ядерного деления трипаносом и лейшманий, его отличие как от амитоза, так и от типичного митоза: сохранение ядерной мембраны, преимущественное периферическое расположение хроматина в ядре, невыраженность веретена деления. Почти все это оказалось верным при электронной микроскопии, и эти тончайшие работы остаются классическими.

Выступая как протозоолог, Роскин оставался цитологом, так как видел в простейших прежде всего клетку.

¹ Роскин Г. // Уч. зап. Моск. гор. ун-та им. А. Л. Шанявского. 1915. Вып. 1. С. 1—9.

² Роскин Г. И. // Арх. Русск. протистолог. о-ва. 1923. Т. 3. С. 231—240.

³ Roskin G., Schischlyaewa Z. // Arch. Arch. Protistenk. 1928. Bd. 60. S. 460—480.



На Мурманской биологической станции. 1929 г.

Начало нашего века ознаменовалось успехами химиотерапии, важнейшими объектами которой стали паразитические простейшие, и прежде всего трипаномы — возбудители серьезных заболеваний животных и человека. И в этой бурно развивающейся области Роскин нашел свое особое место. Серией его работ 1929—1935 гг. показана возможность сочетанного, синегидного воздействия химиотерапевтических веществ и ультрафиолетовых лучей⁴.

В 1926—1927 гг. Роскин снова попадает за границу, но уже не в качестве ученика. Он командирован Московским университетом на полгода во Францию и Германию для ознакомления с работой научных (главным образом медико-биологических) и высших учебных заведений. В обеих странах он увидел отток молодежи в ненаучные, более «хлебные» сферы деятельности, а среди ученых — падение интереса к общим теоретическим проблемам, крайне скудные субсидии правительства на науку, правда, более высокие в Германии, но уже тогда сочетавшиеся там с первыми симптомами фашизма (антисемитизм, религиозное неравенство). Заметил он существенную разницу между старинным государственным Пастеровским институтом (с его основанным на «глубоком доверии» единоличным правлением В. Ру, традиционной дисциплиной, скромными материальными средствами, от-

сутствием строгой плановости, отчетности, руководящего аппарата и серьезной подготовки молодежи) и новыми институтами, организованными на частные средства. Их отличали лучшее обеспечение, более строгая организованность, плановость, отчетность, коллегиальность, понимание роли среднего звена сотрудников. Григорий Иосифович нашел, что советские научные и учебные биологические учреждения более соответствуют этому новому варианту и проявляют еще такое важное преимущество, как внимание к молодым кадрам.

Докторская степень была присуждена Г. И. Роскину *Honoris causa*. 1930 год открыл новую страницу в его жизни: он стал заведующим кафедрой гистологии Московского университета.

МГУ, КАФЕДРА ГИСТОЛОГИИ

В Московском университете гистология как самостоятельная дисциплина появилась в 1896 г. на медицинском факультете, который до 1930 г. не был самостоятельным институтом⁵. Кафедра гистологии и эмбриологии на естественном факультете университета сформировалась значительно позже, в 1914 г., хотя тут гистология давно развивалась бурно, интересно и к тому времени уже имела свою историю, кадры и лидеров, прежде всего Кольцова. Первым заведующим кафедрой гистологии и эмбриологии стал Н. В. Богоявленский, которого в 1930 г. сменил Роскин, оставаясь на этом посту с небольшим перерывом 30 лет. На кафедре гистологии МГУ определились и выросли в «настоящие» основные направления работы Роскина и его многочисленных учеников и сотрудников.

Драгоценный сплав из знаменитой биологической российской (особенно цитологической кольцовой) и европейской протистологической школ сделали Роскина одним из самых образованных, широких биологов своего времени, а руководимую им кафедру — центром многих научных и методических начал. Роскину принадлежит заслуга в формировании основных направлений работ кафедры: сравнительно-эволюционной гистологии (главным образом мышечных клеток), изучения нервной клетки и ее хемотектоники, злокачественного роста во многих его проявлениях, цитологии и цитохимии простейших, разработки цитохимиче-

⁴ Роскин Г., Романова К. // Журн. микробиол. и иммунобиол. 1934. Т. 13. № 1. С. 48—63.

⁵ Роскин Г. И. // Уч. зап. МГУ. Биол. Юбилейная сер. 1940. Вып. 53. С. 103—115.

ских методов, составивших славу университета и отечественной науки.

Знание протозоологии и зоологии вообще определило широкий круг изучаемых объектов (не только простейшие, но и кишечнорастворимые, черви, моллюски, насекомые, различные позвоночные). Именно это позволило осуществить сравнительно-гистологический и сравнительно-цитологический анализ, создать основы сравнительной цитологии. Такой подход — во всех работах Роскина по мышечной клетке⁶. И его результатом были новые представления о тождестве, гомологии и аналогии однотипных клеток близких видов, о комплексе разнородных клеток как структурной и функциональной единице многоклеточного организма, каковой в гладкой мышце предлагалось считать мион — комплекс гладкомышечных и соединительно-тканых клеток, сократимых и опорных элементов.

Отдельную главу составляют исследования Роскина по гистохимии нейронов, приведшие к представлению о хемоархитектонике нервной системы, о цитохимических различиях физиологически разных типов этих клеток⁷. Он впервые показал не только присутствие РНК в тигроиде нервных клеток, но и особое богатство РНК.

Роскин по праву считается основоположником цитохимического направления в русской цитологии. В изучении химических компонентов в неразрушенной клетке он видел возможность синтеза морфологии, физиологии и биохимии. Эти работы с самого начала носили физиологический характер, и никогда метод как таковой не был самодовлеющим. Вещества не просто выявлялись в клетке, они связывались с определенными клеточными структурами, а также с происходящими в клетке и в организме процессами (деления, развития, малигнизации). Позже самостоятельное направление составила количественная цитохимия, разработанная прежде всего В. Я. Бродским. А знаменитая книга Роскина «Микроскопическая техника» остается очень полезной и сейчас⁸.

Возможности многих цитохимических методов до сих пор далеко не исчерпаны, но теперь они часто оказываются в тени только из-за блистательных успехов более новых электронно-микроскопических и молекулярно-биологических методов.

«РАК! — НАЧАЛО НОВОГО ПУТИ?»

Так записано в дневнике 1923 г. На этом труднейшем пути, в этой мрачной, если не трагической, области исследований Роскину принадлежат значительные заслуги, касающиеся природы злокачественных клеток, диагностики и лечения рака.

В работах 1927—1936 гг., пытаясь найти цитологические отличия раковых клеток от нормальных, Роскин приходит к выводу, что злокачественные клетки не дедифференцированные, не упрощенные, а характеризуются только комплексом признаков и особенно интенсивным обменом, причем их агрессивность сочетается с ранимостью⁹.

Новая идея об уязвимости раковых клеток остается плодотворной и теперь, несмотря на царящий в онкологии скепсис. Позднее Роскин показал гетерогенность популяций клеток одной и той же опухоли, что чрезвычайно важно как для диагноза, так и для прогноза злокачественного роста.

Онкологические исследования не ограничивались только цитологией. В злокачественном росте выделялся прежде всего процесс. Целая серия работ посвящена изучению роли ретикуло-эндотелиальной системы в «отношениях» больного с опухолью¹⁰. Блокада этой системы делала возможной гетеротрансплантацию чужеродной (от другого вида животного) опухоли, а ее стимуляция вооружала организм в борьбе с опухолью. Очень ценная мысль заключалась в том, что в этих реакциях организма действует целая функциональная система, а не отдельное вещество. Видимо, эти работы были в числе первых, составивших начало той иммунологии злокачественного роста, которая теперь составляет мощную ветвь онкологии.

В 1939 г. Роскин обнаружил особые свойства сыворотки раковых больных: снижение изоэлектрической точки и токсичность (например, подавление деления и гибели парамечий). Такую цитотоксичность раковых клеток можно было использовать как вспомогательный метод в диагностике рака¹¹. Позже он нашел более основательный и тонкий метод цитодиагностики злокачественных клеток по их окраске лейкобазой, метиленовой сини, а по существу — по еще не расшифрованному отличию окис-

⁶ Роскин Г. И. // Уч. зап. МГУ. 1937. Т. 13. С. 227—317.

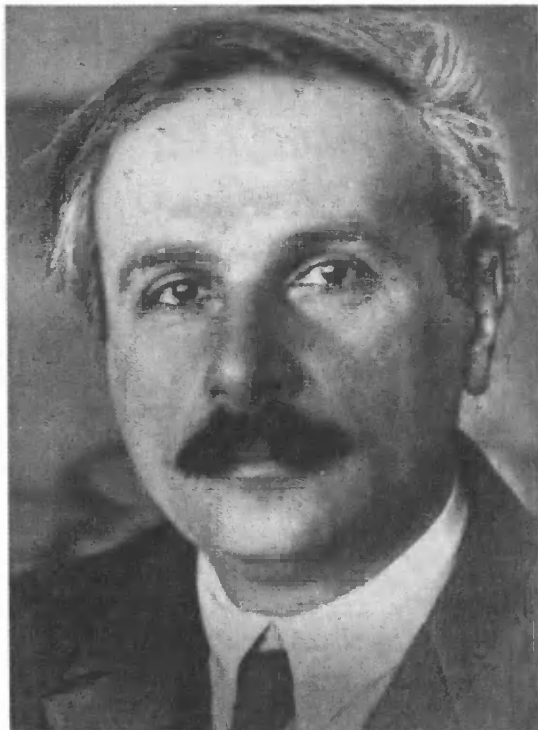
⁷ Роскин Г. И. // Арх. анатомии. 1959. Т. 36. № 4. С. 3—15.

⁸ Роскин Г. И. Микроскопическая техника. М., 1957.

⁹ Роскин Г. И. // Журн. эксперим. биологии. 1931. № 7. С. 62—67.

¹⁰ Роскин Г. И., Маслова А. // Вестн. рентгенологии. 1934. С. 394—401.

¹¹ Роскин Г. И. // Уч. зап. МГУ. 1939. Т. 20. С. 372—438.



Молодой заведующий кафедрой гистологии МГУ. 1930 г.

На кафедре гистологии МГУ. Конец 40-х годов.

лительных ферментов раковых клеток от нормальных¹².

НОВЫЙ ПРОТИВОРАКОВЫЙ ПРЕПАРАТ

Однако наибольшую известность, славу и страдания принесли Роскину его работы по терапии рака. В 1931 г. совместно с Е. Экземплярской он обнаружил замечательный феномен — антагонизм между злокачественным ростом и болезнью Чагаса, вызываемой паразитическим простейшим *Trypanosoma cruzi*¹³. Эта инфекция либо подавляла рост различных опухолей животных, либо приводила к полной регрессии новообразований. На основе этого открытия в сотрудничестве с микробиологом Н. Г. Клюевой Роскин получил препарат, названный сначала КР, а затем — круцином. Новый препарат обладал широким спектром специфического действия на опухоли животных, профилактически воздействовал на возникновение спонтанных опухолей мышей, а в условиях культур тканей вызывал гибель всех испытанных злокачественных клеток человека, не влияя на нормальные клетки.

Итоги клинических испытаний коротко сводились к следующему. Круцин безвре-

¹² Роскин Г. И., Струве М. Е. // Научн. докл. высш. школы (биол.) 1958. № 3. С. 35—46.

¹³ Roskin G., Ekzemplyarskaya E. // Zeitschr. Krebsforsch. 1931. Bd. 34. N 6. S. 628—645.





С сотрудниками и студентами во дворе старого здания МГУ на Моховой. Начало 50-х годов.

ден (что отличает его от других противоопухолевых агентов), не подавляет защитные силы организма, благотворно влияет на общее состояние раковых больных (снижает интоксикацию, боли, позволяет отказаться от применения наркотиков, восстанавливает трудоспособность), приводит к ремиссиям, а во многих случаях (даже запущенных), обладая специфическим противораковым действием, стабилизирует рост опухоли, уменьшает ее размеры до операбельного состояния, а на более ранних стадиях даже ликвидирует основные узлы и метастазы. Так, из 29 больных раком губы круцин стабилизировал процесс у восьми человек, уменьшал опухоли — у шести, опухоль совсем исчезала у 12 (пятеро из выздоровевших наблюдались в течение 5—17 лет). Среди леченных круцином 18 больных раком молочной железы I—II стадии после не радикальной операции 12 человек прожили 12 лет, трое — более пяти, одна — более полутора лет (судьба еще двоих неизвестна). Хорошие результаты наблюдались при лечении опухолей толстого кишечника.

Позже за рубежом были получены доказательства «антагонистических отноше-

ний» болезни Чагаса и злокачественного роста в организме.

Все это говорило о том, что речь шла не о частных случаях и чисто лабораторных опытах, а о серьезном общем явлении. Т. cruzi обладала уникальной способностью отличать злокачественные клетки от нормальных и избирательно поражать их. Применение круцина стало началом нового направления — биотерапии, т. е. использования обнаруженных естественных отношений паразита и пораженного раком хозяина. Это означало также терапию безопасную для человека — его нормальных тканей и органов. Такая идея за несколько десятилетий преодолела то, к чему только теперь приходят онкологи.

Т. cruzi стала и объектом теоретических цитологических исследований, что вылилось в серию прекрасных работ, прежде всего цитохимических.

Эксперименты Роскина и Клюевой получили подтверждение в целом ряде зарубежных работ и были высоко оценены ведущими учеными нашей страны. Глава советской онкологии академик Н. Н. Петров отнес эти исследования к числу «открытий первостепенных», а академик А. А. Богомолец рассматривал это открытие как праздник советской науки. В 1947 г. за работы по биотерапии рака Роскин был удостоен Ломо-



Опыты с круцином на кроликах. Справа — Н. Г. Ключева.

носовской премии Московского университета.

Это открытие было совсем не случайным. Только сочетание в одном лице цитолога-онколога и протозоолога могло подсказать, где следует искать удачи. «Сознающего судьба ведет, не сознающего — тащит»; — записано в юношеских дневниках Григория Иосифовича. Но открытое море науки, к которому молодой ученый шел «с открытым сердцем», обернулось сокрушающим штормом, а новый путь, который он связывал с проблемой рака, оказался путем на Голгофу.

Озабоченный искоренением в нашей стране низкопоклонства перед Западом, информированный об интересе к открытию Роскина и Ключевой со стороны ООН и о желании авторов опубликовать за границей свою книгу, выходящую в это время в СССР¹⁴, Сталин счел эту историю показательной и постарался сделать ее поучительной. За «предательство», «преклонение перед Западом» и «антипатриотизм» авторов интереснейшего открытия подвергли «суду

чести» — своеобразной форме моральных репрессий, с показательным судилищем, проработкой во всех парторганизациях, постановкой соответствующих пьес и фильмов. При этом Сталин хотел остаться прогрессивным: исследования не только не были прекращены, но даже получили поддержку.

Много лет спустя, незадолго перед смертью, Григорий Иосифович иногда возвращался к устным воспоминаниям о трагических днях своей жизни и, в частности, об обсуждении работ по биотерапии в Кремле. Два основных впечатления фигурировали в этих рассказах. Первое — шоково-парализующее действие Сталина на всех присутствующих, в том числе и на членов Политбюро. Собравшиеся довольно долго и в большом напряжении ждали Сталина. Но когда этот невысокий человек с мягкой походкой появился из невидимых боковых дверей, напряжение перешло в какое-то новое, запредельное качество.

Второе впечатление от заседания в Кремле было неожиданным. Все присутствующие сидели, и только Сталин прохаживался с книгой Ключевой и Роскина «Биотерапия злокачественных опухолей» в руке. Григорий Иосифович без труда увидел, что книга была проработана Сталиным, страницы пестрели пометками и подчеркиваниями. Идея биотерапии рака была ясна и понятна даже неспециалисту и, видимо, произвела

¹⁴ Ключева Н. Г., Роскин Г. И. Биотерапия злокачественных опухолей. М., 1946.



На лекции в МГУ. 1955 г.

книги¹⁵, переводом ее в Англии¹⁶, полным подтверждением открытия во Франции¹⁷, созданием там, а затем и у нас производства круцина и его французского аналога — трипанозы.

Работы по круцину, особенно внедрение его в производство, потребовали от Роскина организаторского таланта, который был тоже присущ ему. В разные годы он возглавлял не только кафедру гистологии МГУ, но и отдел протистологии Института микробиологии Наркомпроса РСФСР, лаборатории цитологии Института онкологии и Института физиологии АН СССР, отдел цитологии Лаборатории биотерапии рака АМН

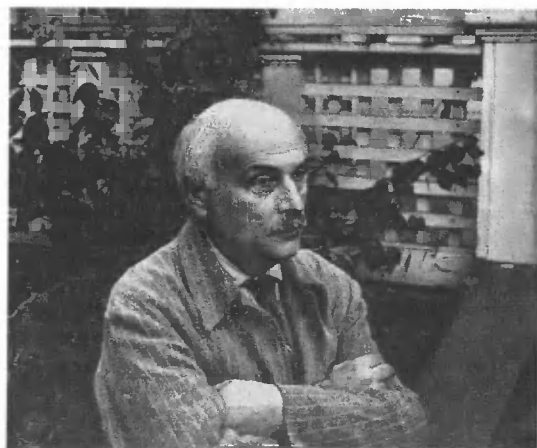


Накануне репрессий.

впечатление на Сталина, независимо от соображений патриотизма и политики. Тем не менее никакого серьезного обсуждения ни книги, ни проблемы в Кремле, конечно, не получилось...

Однако неблагонадежные граждане не могли быть надежными учеными. И вскоре к политическим обвинениям добавились научные. Ученых обвиняли в том, что они не оправдали надежд, выдавали желаемое за действительное. Этому способствовал известный общий скепсис онкологов, особенно в отношении биологических изысканий, а также отрицательное отношение к круцину и его авторам тогдашнего президента АМН Н. Н. Блохина. Исследования были прекращены, Роскин и Ключева, оставшись без работы, оказались в полной изоляции.

Только «оттепелью» 1955—1957 гг. они были политически реабилитированы и получили личное письмо Н. С. Хрущева с извинениями... Снова появилась возможность работать. Роскин вернулся к должности заведующего кафедрой. Именно этот «ренессанс» в истории круцина ознаменовался выходом в свет второй совместной с Ключевой



На даче после очередного инфаркта. 1957 г.

¹⁵ Ключева Н. Г., Роскин Г. И. Проблема противораковых антибиотиков. М., 1957.

¹⁶ K l u y w a N. G., R o s k i n G. I. Biotherapy of malignant tumors. Oxford, 1963.

¹⁷ Кудер Ж. // Антибиотики. 1961. Т. 6. № 2. С. 99—105.

СССР, Лабораторию цитологии и цитохимии раковой клетки МГУ.

Однако и политическая реабилитация ученых прошла более чем тихо, и научной документальной реабилитации не было, и Блохин оставался на своем высоком посту, что постоянно ощущалось в работе. Возглавляемым им оргкомитетом Международного противоракового конгресса в Москве летом 1962 г. и советским, и французским авторам было отказано в докладах по препарату из *T. cruzi*. Параллельно конгрессу удалось провести университетский симпозиум, о котором профессор Киш из Будапешта сказал: «...самым сильным впечатлением из всего, что мне пришлось узнать в Москве, является услышанное на этом симпозиуме. Я участвовал в работе многих международных научных собраний, но до сих пор мне не приходилось встретить столь интересных материалов»¹⁸.

«НАУКА КАК ВОСПИТАТЕЛЬНОЕ СРЕДСТВО»

Педагогика и наука были для Роскина неразделимы. Успеху педагогической деятельности способствовала прежде всего сама личность Григория Иосифовича. Как педагог, Роскин обладал редкой способностью ясно, коротко и красиво излагать материал, заставить студента следовать за своей мыслью и рождать собственные. Эта традиция шла от Кольцова и позже была продолжена Бродским. В обширном курсе биологического университетского образования лекции Роскина многие годы оставались наиболее яркими.

Учила и воспитывала просто совместная работа с Григорием Иосифовичем. Оглядываясь назад, на теперь уже тоже не короткую жизнь, ученики и сотрудники Роскина вспоминают работу под его руководством как подаренное судьбой самое светлое время творческого и жизненного пути. Полная отдача, строгая дисциплина (ежедневные отчеты каждого), понимание человеческих нужд, абсолютное доверие и не просто хорошие, а теплые отношения между сотрудниками — такова была атмосфера в молодом коллективе, окружавшем Григория Иосифовича в последние годы его жизни. Однажды он пошутил:

— Коллектив живет ненормальной жизнью: у нас нет ни романов (коллектив был женским), ни склок.



Всегда вместе. Слева — в начале 40-х годов, справа — в конце 60-х.

На это мы дружно ответили:

— В этом «виноваты» вы сами.

Пожалуй, жизнь сделала его несколько настороженным к людям, что нередко проявлялось при первом знакомстве. Однако если он впоследствии доверял человеку, то доверял абсолютно.

Когда мы, молодежь, начинали возмущаться тем, что не нашлось защитников невинно осужденных ученых, Григорий Иосифович гасил наш накал: «Вы не знаете ни времени, ни обстановки, о которых судите». Он не осуждал... Однако его терпимость была не беспредельной. Не осуждая не выступивших в его защиту, он не прощал тех, кто, выслуживаясь, был виновником многочисленных других жертв.

Однажды, когда вся лаборатория была в сборе, в дверь постучали и в кабинет протиснулась несколько странная голова небольшого человека. Григорий Иосифович изменился в лице и попросил нас на время вернуться к работе. Мы поняли, что произошло что-то необычное. Когда мы вернулись в кабинет, лицо профессора выражало гнев.

— Знаете ли вы, кто приходил сейчас ко мне? Кровавый Презент! Просил круцин. Я не дал...

¹⁸ Круцин в терапии рака. Матер. симп. 25—26 июля 1962. М., 1963.



Это был один из очень редких отказов, которые давались автору круцина нелегко.

Молодежи импонировали живость и острота его ума, юмор, строгость, неукоснительная требовательность, а также редкая терпимость. Коллективные обсуждения дел он начинал с мнения самых младших, чтобы избежать давления старших. Он старался искать таланты, и его интерес к человеческой личности, особенно молодой, был неиссякаем. Многие из его учеников и сотрудников в трудные моменты своей жизни пользовались его поддержкой.

И потому, не имея высоких академических титулов, Григорий Иосифович Роскин заслужил самое высокое, не каждому университетскому профессору даваемое звание — Учитель. И помимо 170 печатных работ, четырех монографий, открытий, одно из главных его наследий — десятки возвращенных им учеников, успешно работающих в различных областях биологии.

Умер Григорий Иосифович Роскин 16 марта 1964 г. после очередного инфаркта. Неудивительно, что в его сердце не осталось живого места. Пожалуй, неудивительно и судьба талантливой личности того времени. Удивительно, как гордо и достойно, без опустошения и озлобления преодолел он все превратности жизни. Наверное, истоки этого — в его истинной интел-

лигентности, в аристократизме духа этого красивого человека. Его благородство, рыцарство проявлялись и в отношении к женщине. В его судьбе наука тесно переплелась не только с политикой, но и с любовью. И если можно говорить о таланте любви, то Григорий Иосифович обладал им в полной мере. Все богатства, которые отпустила ему жизнь: радостное научное творчество, замечательное открытие, успех, преследования, страдания, новый взлет — все было разделено с Ниной Георгиевной Ключевой, которую он любил красиво и беспрдельно.

СУДЬБА КРУЦИНА

Грустно было слышать от Григория Иосифовича в период производства круцина, начала новых работ над ним, что судьба подарила ему счастливую старость. Не мог он знать дальнейшей судьбы препарата, над которой иногда подшучивал: «Я от дедушки ушел, я от бабушки ушел»...

Хотя исследования продолжались, производство оставшегося без хозяина круцина «как малоэффективного и устаревшего средства» в 1972 г. было закрыто... Однако для 4-го Управления Минздрава он оставался и достаточно эффективным, и со-



Выступление в Доме писателей. Справа — онколог В. М. Святский. 1962 г.

всем не устаревшим: там стали покупать за валюту его французский аналог. А мольбы больных, протесты ученых и врачей, адресованные в отдел науки ЦК КПСС, ГКНТ при Совете Министров СССР, министрам здравоохранения, медицинской промышленности по хорошо налаженному порядку возвращались к Блохину...

На протяжении длительной и сложной судьбы круцина не одна комиссия давала ему оценки, равно как положительные, так и отрицательные, нередко одними и теми же высокими лицами. Однако не вовлеченные в эти научно-политические игры практики — районные онкологи Москвы — единодушно дали заключение о его ценности, о необходимости расширения его производства, удешевления и применения в широкой практике¹⁹.

Сегодня дебаты о ценности круцина определенно разрешаются новейшими данными молекулярной биологии. Очень своеобразным кодируемым человеческим геномом белкам, ответственным за естественное сопротивление человека злокачественному росту, аналоги встречаются только среди белков трипаносом²⁰. Таким образом, фено-

мен антагонистических отношений *T. cruzi* с процессом злокачественного роста имеет под собой более глубокую, чем казалось раньше, молекулярно-генетическую основу, а его открытие в 1931 г. было замечательным предвидением. Сегодня нет нужды защищать это открытие и его авторов.

Успехи молекулярной биологии, а также новые исследования иммунологии болезни Чагаса и особых литических свойств *T. cruzi* придают новый смысл идее биотерапии рака с применением этого простейшего. Состояние современной онкологии диктует необходимость возвращения к далеко не исчерпанным возможностям этого направления. После многих неудач химио- и рентгенотерапии онкология теперь приходит к идее использования естественных биологических процессов, происходящих в организме больного как наиболее рациональный и экологически чистый путь. В этом направлении *T. cruzi* не только находит свое место, но остается единственной по своей уникальной способности избирательно действовать на раковые клетки.

Вернуться к судьбе круцина обязывает достоинство отечественной науки, которое Г. И. Роскин отстаивал всей своей жизнью. Возобновив в настоящее время на биофаке эксперименты с *T. cruzi*, столь необходимые для терапии рака, ученики и последователи Григория Иосифовича отдадут дань памяти своему учителю.

¹⁹ Противораковый антибиотик круцин / Под ред. Л. Б. Левинсона и Н. Г. Клюевой. М., 1968.

²⁰ Latif F. et al. // Science. 1993. V. 260. N 5112. P. 1317—1320.

«Юбилей» вулкана Килауэа

Б. И. Силкин

Межведомственный геофизический комитет РАН
Москва

В ЯНВАРЕ 1993 г. исполнилось 10 лет с тех пор, как вновь начал извергаться и до сих пор не успокоился вулкан Килауэа, расположенный на юго-востоке о. Гавайи в одноименном штате США. Столь длительная непрерывная вулканическая деятельность — случай нечастый. Она привела к разрушению 180 жилых и служебных зданий, уничтожила места археологических раскопок и небольшой участок уникального тропического леса в заповеднике Ройал Гарденс, изменила ландшафт местности, погубила своим ядовитым «дыханием» заметную часть урожая (общие убытки превысили 61 млн. долл.), однако к числу катастрофических это извержение отнести нельзя¹.

Килауэа, как, впрочем, и остальные гавайские вулканы, принадлежит к виду щитовых. Эти горы с пологими склонами, извергаются, как правило, без яростных взрывов. Их базальтовая магма сравнительно спокойно изливается на поверхность и течет равномерным потоком, чему способствует низкая вязкость.

Очередное пробуждение Килауэа не стало неожиданностью. Вулкан извергался на глазах у нынешнего поколения в 1955, 1960, 1961, 1963, 1965, 1968 и 1977 гг., хотя каждый раз и недолго. Но перед 1955 г. он «проспал» целых 115 лет подряд.

За минувшее десятилетие вулкан выпустил на поверхность более 1 млрд. м³ лавы, побив прежний «рекорд» своего соседа Мауна-Улу, действовавшего с 1969 по 1974 г. и излившего на окрестности 350 млн. м³ расплавленной породы. Ки-

лауэа — молодой вулкан: 90 % его щита образует лава, возраст которой не превышает 1100 лет.

Вместе с расположенным недалеко от него вулканом Мауна-Лоа Килауэа — младший по возрасту в пятерке щитовых вулканов, которые, по существу, и составляют «становой хребет» всего острова Гавайи. По нему, извиваясь, проходит зона мощных разломов земной коры, в пределах которой нередки землетрясения.

Последнее десятилетие в жизни Килауэа вулканологи разбили на 52 эпизода, каждый из которых или представляет собой сплошную череду сильных извержений, или знаменуется возникновением нового эруптивного рва — расщелины, через которую начинают выходить наверх газы и лава.

Отсчет событий начался ранним утром 3 января 1983 г. За четверо последовавших за этим днем суток в пределах восточной рифтовой зоны, в 17 км от вершины горы, разверзлось множество эруптивных рвов. На отрезке длиной всего 1 км возникла целая цепочка огненных фонтанов, вздымавшихся на десятки метров над землей. Эту серию свежих расщелин гавайцы «окрестили» Пу'у О'о. Первое слово в этом названии по-гавайски означает «холм» (за три года его вершина вознеслась на 255 м), а второе — «вымершая птица».

К июлю 1986 г. центр событий сместился вдоль разлома на 3 км к востоку, излившаяся здесь лава перекрыла площадь в 42 км². Ее огненные языки добрались до ботанического сада местного Национального парка, разрушили туристический центр Вахаулу, смеги с лица земли поселок Капа'аху. Жителям пришлось эвакуироваться, а все их недвижимое имущество погибло.

В конце 1986 г. появился новый эруптивный ров, которому жители ближайшего к нему городка Калапана присвоили имя Купаианаха (в переводе с гавайского — загадочный, таинственный). Медленно текущая лава сначала сформировала кипящее озеро и, переполнив его, полилась вниз по склону, медленно застывая по пути и образуя молодой каменный щит. Через неделю в нем возникла целая система туннелей, стенки которых составляли успевшие окременить породы, а сердцевина служила «лавопроводом». Эта характерная для вулканов гавайского типа система вытянулась в длину на 12 км и в конце концов достигла океана; один из «рукавов» этой огненной реки полностью сжег городок Калапана, оказавшийся на его пути.

С конца 1990 г. магма полилась уже с самой вершины вулкана. Поскольку масса лавы, извергающейся из Купаианахи, начала сокращаться, по-видимому, подземный резервуар магмы из вулкана и рва общий. Перестал работать и «лавопровод», в нем образовались пробки, стенки во многих местах обрушились.

Новая ситуация возникла с 8 ноября 1991 г. Пу'у О'о и Купаианахи соединила сплошная цепь расщелин, над которой встал огненный занавес. Он полихал всего 18 суток, в течение которых лава достигла верхней части заповедного леса Ройал Гарденс и перекрыла собой многие старые лавовые поля. Через три месяца кора на западном склоне конуса Пу'у О'о растрескалась на протяжении 150 м и оттуда «выдавилась» магма, образовавшая пылающее озеро, нависшее над долиной. К счастью, 3 марта его наполнение прекратилось.

Затем ближайšie окрестности вулкана за короткое время сотрясло около 2400 подземных

© Силкин Б. И. «Юбилей» вулкана Килауэа.

¹ Claque D., Heliker C. // Earthquakes and Volcanoes. 1992. V. 23. N 6. P. 244—254.

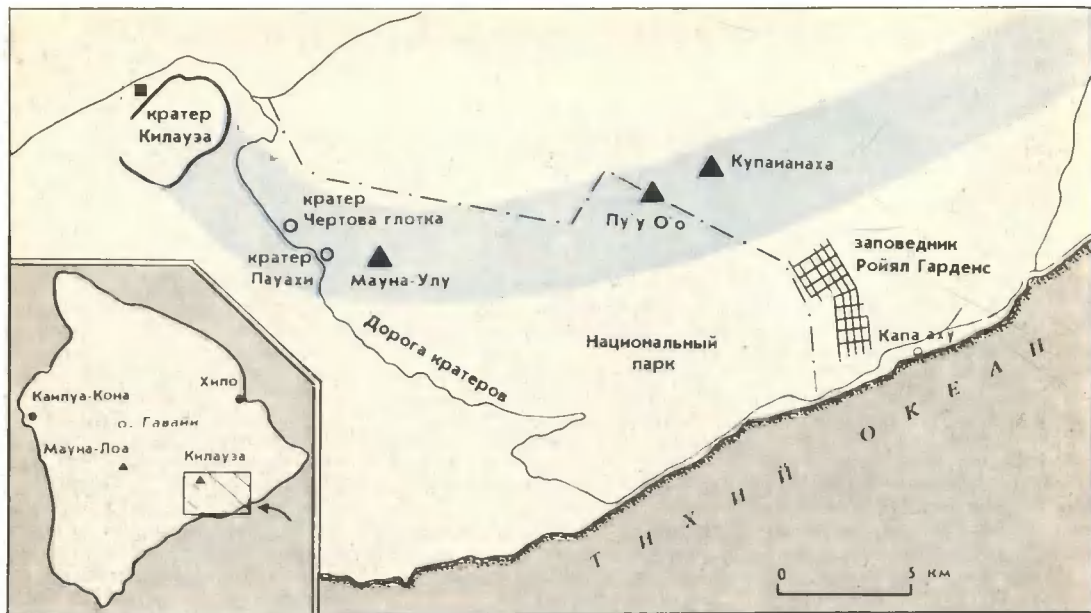


Схема извержения вулкана Килауэа. Тонимом показана восточная рифтовая зона (зона разломов). На врезке внизу — положение вулкана на о. Гавайи, заштрихован изучаемый район извержения.

толчков, правда, весьма слабых. Вершина горы при этом осела. Стало очевидно, что магма, сосредоточившаяся внутри верхней части вулкана, начала переливаться в сторону зоны разломов. А тот участок коры, который образует древний кратер Пауахи, наоборот, «разбух» и «вырос» на 5 см. Излюбленную автопутами Дорогу кратеров пересекла трещина шириной 15 см, упирающаяся в старый кратер, прозванный Чертовой глоткой. Измерения, выполненные позже, позволили установить, что эти два кратера «отъехали» друг от друга на 30 см.

В марте 1992 г. стало очевидно, что вулкан начал «уствовать». Выбросы глубинной породы, длившиеся от 8 ч до 20 сут каждый, теперь перемежались покоем иной раз на протяжении почти целой недели. К концу года на западном склоне Пу'у О'о толщина слоя молодой лавы уже достигала 60 м. Новый магматический

«пруд», заполнивший впадину у вершины, вел себя спокойно, а затем и совсем исчез из виду.

За время, истекшее с тех пор, как в 1986 г. центр событий сместился к Купаианахе, произошло немало перемен. Лавовая протока шириной в 20 м, находившаяся внутри Пу'у О'о, разрослась в зияющий кратер диаметром около 300 м. Стенки кратера обрушились внутрь, так что его вершина стала ниже на 20 м. Огненное озеро, годами заполнявшее кратер, уже не изливало лавовых струй. Когда удалось измерить его уровень, выяснилось, что он понизился на 40 м.

В ночь на 2 октября 1992 г. южный склон Килауэа потряс подземный толчок магнитудой 4,3 по шкале Рихтера, в результате которого возникла еще одна значительная расщелина. Фокус землетрясения лежал на глубине всего 7 км, а его эпицентр находился как раз посередине между новой трещиной и берегом моря.

На поверхность бурно потекла магма, вскоре образовавшая новый «лавопровод». Повидимому, землетрясение нарушило сложившуюся ранее глубинную систему, подававшую магму на поверхность, что и породило новые ее выходы.

В более чем месячной лихорадочной активности вулкана было лишь одно затишье, длившееся сутки.

Затем лава по крутому склону побежала на юг, пересекла Дорогу кратеров и около Камоамоа вновь вторглась в пределы океана. Ее потоки образовали выдвинувшуюся на 300 м в море дельту, имеющую треугольную форму. 24 ноября здесь произошел мощный взрыв. На месте соприкосновения огненной породы с водой образовался конус 8-метровой высоты. Под новый 1993 г. большая часть разрушенной океанскими волнами дельты обрушилась на дно.

Начался 11-й год все продолжающейся, хотя и менее бурной, непрерывной активности Килауэа...

В конце 1993 г. лава вновь обильно изливалась из области Восточного разлома земной коры. В начале ноября ее поток достиг вод Тихого океана с западной стороны дельты р. Камоамоа. Одновременно на поверхности лавового озера в кратере Пу'у О'о, возникали волны — шла активная циркуляция расплавленной породы. Между 26 октября и 8 ноября здесь наблюдалось семь землетрясений магнитудой



Фонтан и поток лавы, истекающий из Пу'у О'о.

Здесь и далее фото из журнала: Earthquakes and Volcanoes. 1992. V. 23. N 6.

Конус Пу'у О'о (на заднем плане) и лавовое озерко на вершине щита Купуанаха.





Лава, перекрывшая шоссе.

более 3 и множество слабых толчков².

С научной точки зрения очень интересны наблюдения за изменениями движений земной коры, связанных с вулканической деятельностью. Они служат реакцией земной коры на концентрацию лавы, рост давления в ее резервуаре в недрах под вулканом. Когда этот резервуар расширяется, вершина горы медленно вздувается, а склоны «вспухают», что иногда свидетельствует об извержении, которое произойдет через год-два. Если же подвижки коры происходят резко и неожиданно, то извержения следует ждать через несколько суток или даже часов³.

На Килауэа, ранее — на Мауна-Лоа, а также на Крабле (Исландия), Сакурадзиме (Япония), в пределах вулканических местностей Лонг-Валли (штат Калифорния) и Флегрейских полей (Италия) движения коры

достигают нескольких сантиметров даже в 10 км от вершин вулканов. Однако имеются вулканы с крутыми склонами — Сент-Хеленс в штате Вашингтон, Этна в Италии и Тангкубан-Парах (Букиттунгул) в Индонезии, у которых подвижки земной коры происходят не далее 1 км от вершины.

Поскольку на крутых, изрезанных склонах традиционные методы точного определения координат точек затруднены, на помощь приходит спутниковая геодезия, широко применяемая на Килауэа и других гавайских вулканах. Измерения со спутников позволяют определить местоположение пункта наблюдений с точностью примерно до 1 см!

Американские геодезисты избрали о. Гавайи с его активными вулканами полигоном для испытаний новой Глобальной системы определения местоположения. Этот же регион отличается высокой сейсмичностью: здесь за 42 последних года произошло пять разрушительных землетрясений, в том числе одно магнитудой 7,2 в 1975 г. Но в отличие от других областей, на Гавайях напряжение в земной коре, порождающее толчки, обычно связа-

но именно с вулканизмом, движениями магмы под поверхностью. Появилась возможность сравнений с подвижками в областях, где землетрясения вызываются движениями тектонических плит коры вдоль гигантских разломов, например в Калифорнии.

На вершине Килауэа, у самой кромки его кратера, была создана станция, взаимодействовавшая со спутниками и тремя наземными пунктами наблюдений. Оказалось, что с 1987 г. вершина горы медленно опускалась. Почва проседала главным образом вокруг кальдеры на южной стороне вершины. Очевидно, что магма постепенно уходила из неглубоко залегающей под вулканом магматической камеры.

Новая система геодезических наблюдений сейчас распространяется на район Мауна-Лоа и систему разломов Кеалакекуа на западном склоне этого вулкана. Впереди аналогичные работы на вулканах Шаста, Лассен-Пик (Калифорния), Рейнир, Сент-Хеленс (Вашингтон), Огастин (Аляска), а также в Исландии и Японии.

Изучавшие поведение Килауэа сейсмологи заинтересовались сейсмическим затишьем на

² Smithsonian Institution Bulletin of the Global Volcanism Network. 1993. V. 18. N 11. P. 6.

³ Dvorak J. // Earthquakes and Volcanoes. 1992. V. 23. N 6. P. 255—267.

восточном склоне огнедышащей горы — несколько лет здесь не фиксировались подземные толчки. Установлено, что такие периоды внезапно и, по-видимому, регулярно сменяются здесь мощным землетрясением.

Зона «затишья» на Килауэ представляет собой блок коры неправильной формы, вытянутый в длину на 18 км и простирающийся в глубину на 10 км. Его подошва представляет собой крупный разлом, почти горизонтальный разрыв, отделяющий верхнюю кору от более глубоких недр. Находящийся поверх разлома слой соскальзывает в сторону океана, причем с необычно большой скоростью. Геодезические измерения, проведенные в 1993 г., показали, что юго-восточная

часть вулкана перемещается в сторону моря на 10 см в год. По расчетам, на плоскости самого разлома эта величина достигает 25 см в год.

В 1975 г. в результате этих движений возникло землетрясение магнитудой 7.2, эпицентр которого находился около Калапана. Одновременно южное побережье о. Гавайи опустилось на 3.5 м и возникла катастрофическая волна цунами высотой 14 м. При изучении сейсмограмм того времени выяснилось, что данному событию предшествовало четыре года полного «молчания» недр.

Затем три года сейсмического покоя предрекали Калапанское землетрясение (магнитудой 6.1) 1989 г. Это первый случай обнаружения сейсмиче-

ского затишья перед последовательными мощными толчками, повторяющимися в одном и том же районе. Однако не все специалисты считают, что Калапану и ее окрестности в недалеком будущем ждет новое сильное землетрясение. Некоторые полагают, что сейсмическое молчание не предвещает землетрясение, а служит финалом уже завершившейся серии подобных событий.

Так или иначе, десятилетие «беспорочной службы» Килауэ подарило вулканологам, сейсмологам, геофизикам, специалистам по геотектонике прекрасную возможность превратить огнедышащую гору в полигон для своих исследований. Наблюдения за Килауэ продолжают.

НОВОСТИ НАУКИ

Сейсмология

Сусамырское землетрясение: тектоническая обусловленность и поверхностные нарушения

Б. М. Бочкин и Е. А. Рогожин (Объединенный институт физики Земли РАН) рассмотрели причины и чрезвычайно ярко выраженные на земной поверхности последствия землетрясения, которое произошло 19 августа 1992 г. в Киргизии (Сусамырская впадина, Северный Тянь-Шань).

В ходе этого сильного землетрясения возникли два типа сейсмогенных нарушений земной поверхности: первичные — сейсмотектонические и вторичные — сейсмогравитационные. Первичные деформации наблюдаются в виде двух сейсморазрывов. Один из них протягивается почти на 6 км вдоль северного подножия хр. Сусамыр на западной периферии впадины и представляет собой серию кулисно расположенных трещин, секущих различные формы рельефа, а морфологически выраженных в на-

рушенном дерновом покрове уступами высотой до 0.9—1 м. Валу сжатия на их фронтальных частях свидетельствуют о взбросовом характере этих деформаций. Отмечается и небольшой горизонтальный сдвиг вправо до 10—15 см. Генеральное направление сейсморазрыва близко к широтному. Второй сейсморазрыв расположен в 25 км восточнее первого и в своей западной части тоже выражен взбросовым уступом высотой до 2.7 м, образовавшимся на поверхности 2-метровой террасы р. Сусамыр. Далее этот разрыв прослеживается на протяжении 3 км вдоль подножия горного массива Арамсу в виде трех параллельных систем трещин. Пересекая ряд отрогов, эти трещины образуют вертикальные уступы высотой 10—30 см со сдвигом вправо на 6—10 см.

На участке между двумя этими сейсморазрывами наблюдается полоса вторичных, сейсмогравитационных деформаций: трещины оседания склонов, оползни. Общая протяженность этой линейной системы дислокаций, безусловно отражающих выход очага землетрясения на поверхность, достигает 50 км.

По мнению авторов, все выявленные поверхностные дислокации четко привязываются к известным системам разломов западной части Сусамырской впадины. Два разобоченных линейных участка первичных сейсморазрывов тяготеют к узлам сочленения молодых широтных разломов с разломами северо-западного простираения, которые образовались в древности, а в новейшее время стали активными. Соединяющая эти разрывы полоса вторичных сейсмодиформаций, а также западное окончание поля сейсмогенных нарушений приурочены к зоне новейших разломов тянь-шаньской (близширотной) ориентировки. Распространение сейсмогравитационных трещин вдоль зон древних разломов таласо-ферганского (северо-западного) направления, наличие здесь оползней, обвалов, явлений выброса камней — все это свидетельствует об участии и этих тектонических линейных структур в сейсмогенерирующих движениях при главном толчке.

Тезисы докладов Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода. М., 1994. С. 28.

Взвеси и течения в Карском море

С. И. Мужжин,
кандидат физико-математических наук
Институт прикладной физики РАН
Нижний Новгород

ИЗ ВСЕХ известных видов излучения звуковые волны распространяются в воде с наименьшими потерями. Кроме того, они прекрасно отражаются границами, существующими в океане — дном и поверхностью, и рассеиваются всегда присутствующими в его водах неоднородностями: флуктуациями температуры и солености, живыми организмами, взвесью, пузырьками. Это дает возможность использовать звуковые и ультразвуковые колебания не только для измерения глубины дна и поиска рыбы, но и для исследования гидрофизических процессов в океане. Поскольку большинство из перечисленных выше рассеивателей пассивно увлекается окружающей жидкостью, для измерения скорости течений в океане можно использовать из-

вестный принцип доплеровской локации.

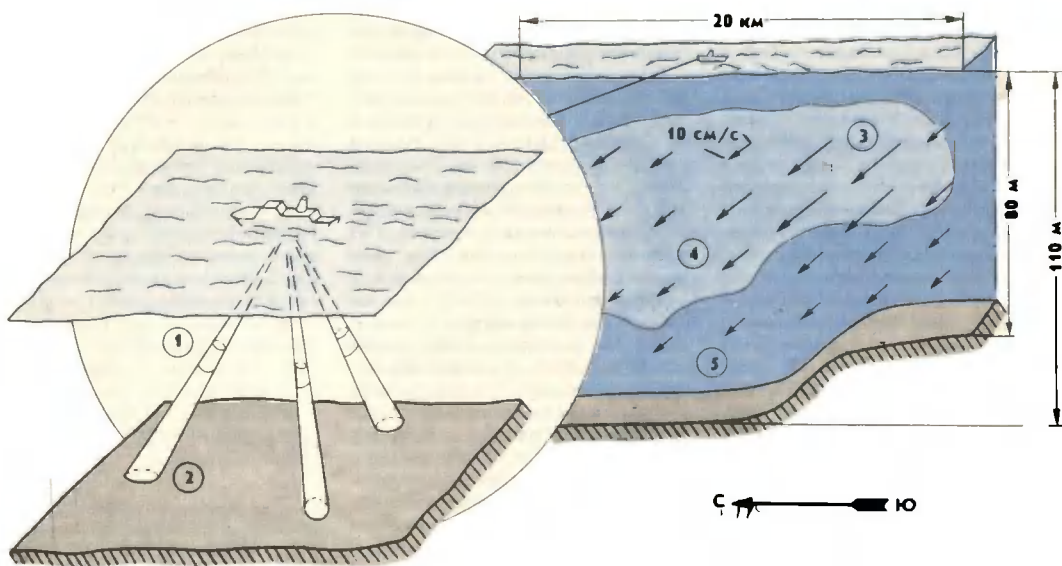
Техническое воплощение этой идеи — акустические доплеровские измерители скорости течений (АДИС), получившие в англоязычной литературе название Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP). ADCP серийно выпускаются фирмами США, Японии и других зарубежных стран. В настоящее время ADCP, так же как и эхолоты, входят в комплект обязательного оборудования научно-исследовательских судов. ADCP зарубежного производства оснащено несколько научно-исследовательских судов РАН.

Первый в России АДИС, не уступающий по параметрам широко распространённому прибору фирмы «RD-instruments» (США), был разработан в Нижнем Новгороде в Институте прикладной физики РАН при участии болгаро-русского СП «Гидролаб».

Прибор представляет со-

бой трехлучевой некогерентный доплеровский гидролокатор. Он способен измерять три составляющие скорости течения на 130 горизонтах на глубине от 12 до 536 м с относительной точностью 0,3—1 % (при времени усреднения не менее 2—4 мин). Прибор может установить скорость судна относительно дна, что позволяет определять абсолютную скорость течения. Для привязки данных к

Слева — схема измерения профиля скорости течения и коэффициента обратного рассеяния ультразвука с помощью судового АДИС: 1 — элемент разрешения (импульсный объем) АДИС; 2 — диаграмма направленности антенны АДИС. Справа — разрез течения на юго-восточной периферии желоба Св. Анны: 3 — векторы абсолютной скорости течения; 4 — область вод с пониженным коэффициентом рассеяния (меньше — 72 дБ по отношению к 1/м); 5 — область вод с повышенным коэффициентом рассеяния (больше — 72 дБ).



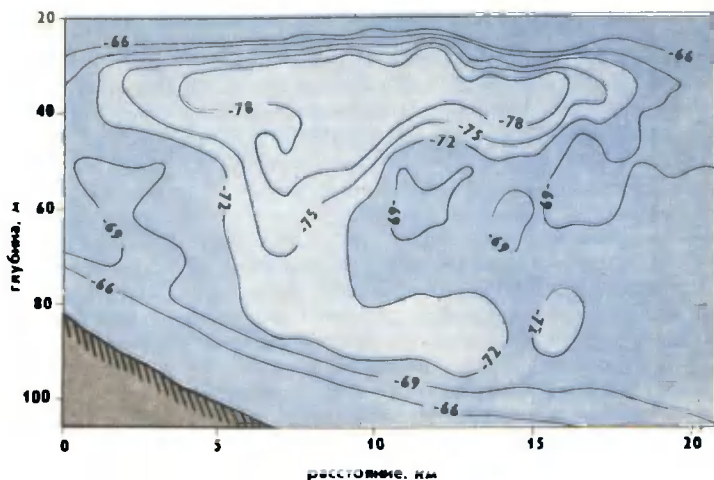
географическим осям координат и глубинам используются курс, измеренный судовым гирокомпасом, и углы бортового и килевого крена, измеренные с помощью гировертикали. Кроме скорости определяется также коэффициент обратного рассеяния ультразвука на рабочей частоте прибора (около 200 кГц). Для управления его работой, записи, отображения и вторичной обработки данных используется персональная ЭВМ IBM-PC 386.

Во время 49-го рейса научно-исследовательского судна «Дмитрий Менделеев», выполненного по программе «The Joint Global Ocean Flux Study» (JGOFS) в Карском море в августе—октябре 1993, с помощью этого прибора впервые были проведены совместные измерения скоростей течений и коэффициента рассеяния ультразвука. Измерениями была охвачена большая часть акватории Карского моря. Работы велись в дрейфе на станциях (одновременно определялись соленность и температура, отбирались пробы воды и грунта) и на переходах между ними. Полученные данные обрабатываются, однако уже сейчас можно сформулировать некоторые результаты.

Обнаружено, что воды обследованной части Карского моря разделяются на несколько зон по величине коэффициента обратного рассеяния ультразвука. Зона высокого рассеяния охватывает верхние (по течению) части эстуариев Оби и Енисея; повышенного рассеяния — примыкающее к ним мелководье до 76-й параллели, Байдарацкую губу и придонную область в центральной части моря; зона низкого рассеяния занимает оставшуюся часть вод.

Поскольку коэффициент рассеяния в общем пропорционален содержанию в воде мелкодисперсного взвешенного вещества, можно считать, что выявлена качественная крупномасштабная картина его распределения в Карском море.

Анализ профилей скорости течения, полученных на мелководье перед эстуариями Оби и Енисея, выявил наличие среднего переноса водных масс, направленного на запад. На юго-восточной периферии желоба



Разрез с севера на юг через митризацию вод с пониженным коэффициентом рассеяния ультразвука в воды Байдарацкой губы. На изолиниях — коэффициент рассеяния (дБ).

Св. Анны в районе свала глубин было обнаружено прижатое ко дну и направленное на запад струйное течение шириной 20 км, охватывающее слой воды на глубине от 30 до 90 м; его скоростью на глубине 50—60 м до 35 см/с. Это течение образовано водами с пониженным коэффициентом рассеяния ультразвука, такие воды встречаются и на мелководье в виде отдельных струй, и, по-видимому, проникают в Карское море из Северного Ледовитого океана.

Зарегистрирована повышенная пространственно-временная изменчивость поля скорости течения и поля коэффициента рассеяния в области шельфового порога в Байдарацкой губе и в области гидрологического фронта на Енисейском разрезе. Как показывает предварительный анализ, возмущения поля скорости вызваны, по-видимому, внутренними волнами, возникающими при взаимодействии приливных течений с неровностями дна (Байдарацкая губа), и, возможно, неустойчивостью средних тече-

ний (гидрофронт на мелководье перед эстуарием Енисея).

В поле рассеяния в области контакта вод с различными рассеивающими свойствами обнаружены пространственные структуры с масштабами от единиц до десятков километров, которые отражают процесс взаимного проникновения этих вод.

Результаты измерений рассеяния ультразвука показывают, что когда оно в основном определяется пассивной взвесью, коэффициент обратного рассеяния ультразвука повышенной частоты прекрасно визуализирует гидродинамические процессы, протекающие в природных условиях, что позволяет наблюдать их с полнотой, доступной лишь при лабораторных исследованиях.

Совместный анализ проб воды, характера донных осадков, измерений соленности, температуры, скорости течения, а также коэффициента рассеяния ультразвука позволит составить общую картину появления, распространения и отложения взвешенного вещества в Карском море, а кроме того, проследить за проникновением в него вод Баренцева моря и Северного Ледовитого океана.

Электрические поля нейтронных звезд

А. И. Цыган,

доктор физико-математических наук
Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН
Санкт-Петербург

В ОЗМОЖНОСТЬ существования нейтронных звезд была предсказана в начале 30-х годов Л. Д. Ландау сразу же после открытия Дж. Чэдвиком нейтрона. В это же время американские астрономы В. Бааде и Ф. Цвнки высказали предположение о том, что нейтронные звезды могут образовываться при вспышках сверхновых (например, в Крабовидной туманности). В 1939 г. Дж. Оппенгеймер и Г. Волков выполнили первые расчеты внутреннего строения нейтронных звезд. Однако лишь с открытием Дж. Белл и Э. Хьюишем радиопульсаров в 1967 г. было надежно установлено существование нейтронных звезд в Галактике. Другим наблюдательным проявлением нейтронных звезд являются рентгеновские пульсары (1972).

Для объяснения пульсирующего радиоизлучения (а также рентгеновского и γ -излучения) вращающихся нейтронных звезд пришлось предположить, что нейтронные звезды обладают сильными магнитными полями в $\sim 10^{12}$ Гс. Такие поля формируются в результате сильного сжатия вещества при образовании нейтронных звезд. Из уравнений магнитной гидродинамики следует закон сохранения магнитного потока Ba^2 , пронизывающего звезду. В процессе сжатия радиус звезды (точнее, радиус той области, которая станет нейтронной звездой) уменьшается с 10^{11} см до 10^6 см, т. е. на 5 порядков, что приводит к усилению магнитного поля на 10 порядков. При исходном поле звезды 10^2 Гс поле нейтронной звезды окажется равным 10^{12} Гс. Рост магнитного поля при сжатии звезд был рассмотрен в 1964 г. в работах

В. Л. Гинзбурга, а также Н. С. Кардашева, еще до открытия пульсаров.

В простейших моделях предполагается, что магнитное поле нейтронной звезды является дипольным (дипольным полем обладает однородно намагниченный шар; магнитное поле Земли — приближенно дипольное). Магнитная ось диполя составляет некоторый угол с осью вращения звезды. Испускание заряженных частиц, а также γ -квантов и радиоизлучения происходит вдоль магнитной оси, что и приводит к феномену пульсара. Вращающаяся намагниченная звезда генерирует электрическое поле. Первый расчет электрических полей нейтронных звезд был сделан в 1969 г. П. Голдрейхом и У. Джулианом¹. Здесь мы обсудим некоторые вопросы, связанные с электродинамикой нейтронных звезд.

УНИПОЛЯРНАЯ ИНДУКЦИЯ В НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗДАХ

Для расчета электрического поля вращающейся нейтронной звезды необходимо знать ее радиус ($a \sim 10$ км), магнитное поле ($B \sim 10^{12}$ Гс), период вращения ($P \sim 10^{-2} - 1$ с), а также массу ($M \sim M_{\odot}$). Отправной точкой в электродинамике нейтронных звезд является задача о вращающемся в вакууме намагниченном проводящем шаре. Она была решена в 1955 г. А. Дойчем. Электромагнитное поле было определено во всем пространстве от поверхности звезды до бесконечности. Вблизи шара электрическое поле имеет величину $E \sim (\Omega a/c)B$, где $\Omega = 2\pi/P$ — угловая скорость вращения шара, c — скорость

¹ Goldreich P. Julian W. H. // *Astrophys. J.* 1969. V. 157. P. 869.

света, причем существует составляющая электрического поля вдоль магнитного. Эффект генерации электрического поля вращающимся проводящим шаром, который обладает собственным магнитным полем или помещен в стороннее магнитное поле, называют униполярной индукцией.

При исследовании процессов ускорения частиц удобно перейти в систему отсчета, вращающуюся вместе со звездой. В этой неинерциальной системе отсчета электрическое поле звезды в квазистатической зоне ($\Omega r \ll c$) описывается уравнением Максвелла:

$$\begin{aligned} \vec{E} &= -\text{grad}\Phi, \\ \Delta\Phi &= -4\pi(\rho + \rho_{\text{эф}}), \\ \rho_{\text{эф}} &= \Omega B / 2\pi c, \end{aligned} \quad (1)$$

где Φ — электростатический потенциал, ρ — плотность электрического заряда (вне звезды $\rho=0$). Простое аналитическое решение было получено автором в работе 1979 г.:

$$\Phi = \Phi_0 \frac{a}{r} + \frac{3(\Omega \vec{p}) \cdot (\vec{m} \vec{n}) - \Omega \vec{m}}{3ca} \left(\frac{a}{r} - \frac{a^3}{r^3} \right), \quad (2)$$

где \vec{m} — магнитный момент звезды, $\vec{n} = \vec{r}/r$ — единичный радиус-вектор, Ω — угловая скорость. Решение удовлетворяет граничным условиям $\Phi(r=a) = \Phi_0$; $\Phi(r \rightarrow \infty) = 0$. Для незаряженного шара постоянная $\Phi_0 = 2(\Omega \vec{m}) / 3ca$. Переход к инерциальной (неподвижной) системе отсчета приводит к электрическому полю, соответствующему с результатом А. Дойча (также для квазистатической зоны). Электрическое поле такой величины ($E \sim 2 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{12} = 2 \cdot 10^8$ CGSE для $P=1$ с) способно вырывать электроны из поверхностного слоя нейтронной звезды. Ускорение этих электронов вдоль магнитного поля до релятивистских энергий приведет к генерации γ -излучения столь жесткого, что такие γ -кванты способны рождать в присутствии сильного магнитного поля электрон-позитронные пары. (Возможность такого процесса вблизи нейтронных звезд была указана в работе П. Стеррока в 1971 г.). Есть и другая причина, по которой нейтронная звезда должна быть окружена плазмой, — это тормозмиссия частиц (электронов и ионов) с поверхности звезды. Современные вычисления работы выхода электронов и ионов из поверхностного слоя нейтронной звезды для магнитного поля 10^{12} Гс приводят к величине 200—300 эВ (П. Джонс, 1985; Д. Неухаузер, К. Лангейк, С. Кунин, 1986). Это означает,

что если температура T поверхности звезды превышает $2 \cdot 10^5$ К (что составляет 0,1 от работы выхода), то тормозмиссия имеет место. Как показывают наблюдения и расчеты, такими температурными характеристиками обладают нейтронные звезды — радиопульсары возраста $t \leq 10^6$ лет.

Учет плазмы был произведен в уже упомянутой работе Голдрейха и Джулиана в 1969 г., где обращалось внимание на то, что магнитные силовые линии в пространстве, окружающем вращающуюся нейтронную звезду, делятся на два типа. Часть магнитных силовых линий, исходящих из поверхности звезды, в нее же и возвращается. Эту часть пространства называют областью замкнутых или закрытых силовых линий. Вторую область называют областью открытых силовых линий. Здесь магнитные силовые линии исходят из поверхности звезды и уходят на бесконечность, образуя спираль. Такое поведение магнитного поля следует из решения Дойча. Голдрейх и Джулиан предположили, что истекающая с поверхности нейтронной звезды плазма заполнит область закрытых силовых линий магнитного поля. В этой плазме произойдет разделение зарядов, приводящее к уничтожению электрического поля. В модели Голдрейха—Джулиана электрическое поле существует только в областях открытых силовых линий магнитного поля, имеющих вид узких конусов с углом раствора $\theta \sim (\Omega a/c)^{1/2} \sim 1,4 \cdot 10^{-2}$ (для $P \sim 1$ с). Таким образом, боковая поверхность и основание конуса обладают хорошей проводимостью, а потому имеют постоянный потенциал Φ .

В 1975 г. в работе М. Рудермана и П. Сазерленда было найдено электрическое поле в области открытых силовых линий магнитного поля в предположении, что в основании конусов плазма не истекает с поверхности звезды. Ими была использована сильно завышенная величина работы выхода ионов (~ 10 кэВ) с поверхности нейтронной звезды². Электрическое поле существовало на расстоянии порядка диаметра основания конуса от поверхности звезды и достигало величины $E \sim (\Omega a/c)^{3/2} B$, которой вполне достаточно для генерации электрон-позитронной лавины в магнитном поле. Заметим, что обсуждаемые в научной литературе механизмы генерации радиоизлучения пульсарами основываются на существовании этой лавины.

Для реалистической величины работы

² Ruderman M. A., Sutherland P. G. // Astrophys. J. 1975. V. 196. P. 51.

выхода заряженных частиц (200—300 эВ) режим генерации электрон-позитронной плазмы Рудермана—Сазерленда, при котором отсутствует термоэмиссия, потребует, чтобы поверхность звезды (a точнее, поверхность в основании конусов) была не очень горячей ($T < 10^5$ К). Однако даже при этом условии в режиме генерации электрон-позитронной плазмы поверхность в основании конусов разогреется электрическим током этой плазмы до температуры, намного превышающей 10^5 К. Другими словами, этот режим не реализуется (по крайней мере как стационарный режим).

Для нейтронных звезд с температурой поверхности $T > 2 \cdot 10^5$ К существенна термоэмиссия ионов и электронов, что приводит к режиму «свободной эмиссии» заряженных частиц. В случае «свободной эмиссии» в области открытых силовых линий магнитного поля темп истечения заряженных частиц близок к величине, при которой происходит полное экранирование электрического поля у поверхности. Этот режим выполняется в электронных приборах вблизи горячих катодов. Исследования, выполненные Дж. Арнсом и Е. Шарлеманном³, а также У. Фавли в 1978—1979 гг., привели к величине электрического поля в области конусов $E \sim (3/16)(\Omega a/c)^{3/2} B \sin \chi$ (случай ортогонального ротатора, когда магнитный момент перпендикулярен вектору угловой скорости, был также рассмотрен в 1979 г. автором).

Этой величины электрического поля недостаточно для генерации электрон-позитронной лавины для типичных параметров пульсаров $P \sim 1$ с и $B \sim 10^{12}$ Гс. Иными словами, красивая и плодотворная гипотеза об электрон-позитронной лавине в электродинамике нейтронных звезд, казалось бы, не подтвердилась. Однако при дальнейших исследованиях она нашла неожиданное развитие.

РОЛЬ ЭФФЕКТОВ ОТО В ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД

Начиная с 1985—1986 гг. мы (А. Г. Муслимов и А. И. Цыган) исследовали влияние эффектов общей теории относительности (ОТО) на электромагнитные поля вращающихся нейтронных звезд⁴. Для случая

нейтронных звезд, вращающихся в вакууме, учет эффектов ОТО дал поправки к обычной униполярной индукции порядка $\kappa_g/a = 0.3—0.4$, где $\kappa_g = 2GM/c^2$ — гравитационный радиус звезды. Однако в модели Голдрейха—Джулиана в режиме свободного истечения зарядов с поверхности нейтронной звезды учет эффектов ОТО привел к электрическому полю, в 100 раз большему по сравнению со случаем плоского пространства-времени. Это утверждение является важным, и мы попытаемся объяснить причины генерации столь большого электрического поля.

В сферической системе координат (с полярной осью, направленной по Ω), связанной с вращающейся нейтронной звездой, гравитационное поле описывается метрикой

$$ds^2 = hc^2 dt^2 - h^{-1} dr^2 - r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2) + 2g_{03} c dt d\varphi, \quad (3)$$

$$\text{где } h = 1 - \kappa_g/r; \quad g_{03} = -\frac{\Omega - \omega(r)}{c} r^2 \sin^2 \theta; \quad \omega(r) = \frac{2GI}{c^2 r^3} \Omega.$$

(G — гравитационная постоянная, I — момент инерции звезды.)

Первые три члена (метрика Шварцшильда) описывают сферически симметричную часть гравитационного поля вне звезды. Недиagonalный компонент g_{03} метрического тензора содержит в себе член $-\Omega r^2 \sin^2 \theta/c$, связанный с переходом во вращающуюся вместе со звездой систему отсчета, а также член $\omega r^2 \sin^2 \theta/c$, описывающий в линейном приближении эффект увлечения инерциальных систем отсчета. Вид метрики (3) легко может быть получен путем линеаризации метрики Керра (описывающей пространство-время вокруг «черной дыры») по величине угловой скорости увлечения ω , с последующим переходом во вращающуюся со звездой систему отсчета. Уравнение Максвелла в гравитационном поле с метрикой (3) для электростатического потенциала в квазистатической зоне имеют вид

$$\Delta \Phi = -4\pi(\rho + \rho_{3\varphi}); \quad \rho_{3\varphi} = \frac{\sqrt{h}}{4\pi} \vec{B} \operatorname{rot} \vec{g} \quad (4)$$

$$\vec{g} = \frac{1}{hc} \left[1 - \kappa \left(\frac{a}{r} \right)^3 \right] [\vec{\Omega} r];$$

$$\kappa = \frac{r_g}{a} \cdot \frac{1}{M_g^2}.$$

³ Arons J., Scharlemann E. T. // *Astrophys. J.* 1979. V. 231. P. 854.

⁴ Муслимов А. Г., Цыган А. И. // *Астрон. журн.* 1990. Т. 67. С. 263; Muslimov A. G., Tsygan A. I. // *Mon. Not. R. astr. Soc.* 1992. V. 255. P. 61; Цыган А. И. // *Письма в «Астрон. журн.»* 1993. Т. 19. С. 665.

где операции $\Delta\Phi$ и $\text{rot}\vec{g}$ берутся в геометрии Шварцшильда.

Уравнение (4) является обобщением уравнения (1) для случая сильного гравитационного поля. Величина $\rho_{\text{эф}}$ описывает «эффективную» плотность электрического заряда, генерируемую вектором \vec{g} из магнитного поля \mathbf{B} . Вектор \vec{g} (он связан с g_{03}), являющийся причиной генерации электрического поля, состоит из двух частей. Первая часть $(1/hc)[\Omega\vec{r}]$ описывает обычную униполярную индукцию, искаженную сферически симметричным шварцшильдовым полем, вторая — $\chi(1/hc)(a/r)^3[\Omega\vec{r}]$ — описывает своего рода «эфирный ветер» вблизи вращающегося массивного тела. Угловая скорость вращения этого «ветра» $\omega(r)$ максимальна у поверхности звезды. Релятивистский параметр χ описывает меру увлечения во вращательное движение окружающего звезду пространства, или, если угодно, «эфира». Для типичных параметров нейтронных звезд момент инерции I в единицах Ma^2 , т. е. безразмерный момент инерции (I/Ma^2) , равен 0,4, величина $g_3/a=0.3-0.4$, т. е. параметр $\chi=0.12-0.16$. Можно сказать, что уравнение (4) описывает явление униполярной индукции с угловой скоростью $\Omega[1-\chi(a/r)^3]$, зависящей от расстояния до звезды. Уравнение (4) решалось в области открытых силовых линий магнитного поля с граничными условиями $\Phi=0$ на боковой поверхности и $\Phi=0; E=0$ в основании конуса. При этих граничных условиях электрическое поле в каждой точке узкого конуса генерируется только источниками $-(\rho+\rho_{\text{эф}})$ в близлежащей области. В режиме свободного истечения поверхностью испускается такая плотность зарядов ρ , чтобы она могла уничтожить электрическое поле на самой поверхности. Практически это означает $\rho+\rho_{\text{эф}}\approx 0$ при $r=a$. Заметим, что компенсация электрического поля на поверхности до нуля происходит при локальной угловой скорости $\Omega(1-\chi)$. Этого количества зарядов ρ недостаточно для компенсации $\rho_{\text{эф}}$ на всех расстояниях от звезды, так как угловая скорость униполярной индукции при удалении от поверхности увеличивается как $\Omega[1-\chi(a/r)^3]$. Эта нескомпенсированность и является причиной генерации сильного электрического поля в конусе вблизи нейтронной звезды (А. Г. Муслимов, А. И. Цыган, 1990—1992):

$$E \sim 1.5\chi(\Omega a/c)^2 B \cos \chi, \quad (5)$$

здесь χ — угол между магнитным моментом звезды m и осью вращения. Электрическое поле существует в области $r \leq (1,3-1,5)a$.

и спадает с расстоянием от звезды как $(a/r)^4$. Для периода $P=1$ с и магнитного поля $B=10^{12}$ Гс $E=10^4$ CGSE. Электрическое поле в той же области, генерируемое чисто униполярной индукцией, равно $(3/16)\chi \times (\Omega a/c)^{5/2} B \sin \chi$, что в $\chi \cos \chi / (\Omega a/c)^{1/2} \times \sin \chi \sim 10^2$ раз меньше общерелятивистского поля (5). Заряженные частицы, составляемые горячей поверхностью звезды, эффективно ускоряются до релятивистских энергий (электроны ускоряются до энергии $\sim mc^2$ на пути 10 см, ионы железа — на пути 10^3 см). Несколько позже в работе В. С. Бескина (1990) была также отмечена важная роль эффекта увлечения инерциальных систем отсчета для случая, когда электрон-позитронная лавина генерируется на высоте много меньшей радиуса основания конуса.

Исследования, выполненные в 1993 г. А. И. Цыганом и Х. Спруитом, показывают, что величины электрического поля (5) достаточно для генерации электрон-позитронной плазмы для периодов пульсаров, удовлетворяющих условию $P \leq P_c (B/10^{12})^{0.657}$. Период P_c зависит от структуры магнитного поля у поверхности нейтронной звезды. Для идеального дипольного поля $P_c = 0,18(\cos \chi)^{3/7}$ с, для диполя с искажениями порядка 1 (сильные возмущения) $P_c = 1,35(\cos \chi)^{1/2}$ с. Выключение генерации электрон-позитронной плазмы обычно интерпретируется как выключение радиоизлучения пульсара. С наблюдениями радиопулсаров хорошо согласуется константа $P_c = 1,35(\cos \chi)^{1/2}$ с, т. е. значительная доля нейтронных звезд обладает сильновозмущенным дипольным магнитным полем (по существу, можно говорить о недипольном характере магнитного поля вблизи поверхности нейтронной звезды). Заметим, что период выключения пульсара P_c для электрического поля, генерируемого чисто униполярной индукцией, получается примерно в четыре раза меньше.

Итак, общерелятивистский эффект увлечения инерциальных систем отсчета играет фундаментальную роль в генерации электрических полей нейтронных звезд — радиопулсаров. Другими словами, факт существования радиопулсаров с периодом $P \sim 1$ с (при поле $B \sim 10^{12}$ Гс) является еще одним подтверждением справедливости общей теории относительности.

Уиллером владела мечта — пробраться через все эти дебри и одним взглядом охватить природу квантовой гравитации и элементарных частиц. По его мнению, такая возможность возникает в процессе поиска парадоксов в теоретической физике. С решением парадокса приходит более глубокое понимание. Чем глубже парадокс, тем скорее такое новое понимание поможет вырваться за границы XX в.

Поэтому вполне в духе сказанного было то, что, вынырнув из проекта супербомбы, Уиллер вместе с Харрисоном и Вакано вскоре заполнили провалы в нашем знании о холодных мертвых звездах (см. гл. 5); по этой же причине он задумался о конечной «судьбе гигантских масс». Здесь был заключен парадокс как раз такого типа, какой искал Уиллер: никакая холодная мертвая звезда не может быть тяжелее примерно двух солнечных масс. И в то же время небо, кажется, изобилует гораздо более массивными тяжелыми звездами — звездами, которые когда-нибудь должны остыть и умереть. Оппенгеймер, в свойственной ему прямолинейной манере, спросил у известных физических законов: что происходит с такими звездами? И получил (совместно со Снайдером) ответ, весьма взбудораживший Уиллера. Была подкреплена уверенность Уиллера в том, что, разобравшись в судьбе гигантских масс, он сможет бросить взгляд за пределы физики XX в. Как мы увидим в дальнейшем, Уиллер оказался прав.

В груди Уиллера разгорелся огонь — непрерывное страстное желание понять судьбу больших гигантских масс и узнать, не поможет ли эта их судьба открыть загадку квантовой гравитации и элементарных частиц. Оппенгеймера же в 1958 г. все это, казалось, мало заботило. Он был уверен в своих совместных со Снайдером расчетах, но не выказывал желания продвигаться дальше, к более глубокому пониманию. Возможно, он устал от напряженных сражений предыдущих двух десятилетий: борьбы за создание нового оружия, политических и личных схваток. Может быть, был сыт загадками неведомого. В любом случае он больше уже не будет участвовать в получении ответов. Факел был передан новому поколению. Наследие Оппенгеймера станет основой для исследований Уиллера; а в Советском Союзе наследие Ландау станет фундаментом для работы Зельдовича.

В брюссельском споре 1958 г. с Оппенгеймером Уиллер утверждал, что расчетам Оппенгеймера — Снайдера нельзя доверять.

Почему? Из-за слишком сильной идеализации. Конкретнее, Оппенгеймер изначально полагал, что схлопывающаяся звезда вообще не имеет давления. Без давления в схлопывающемся веществе звезды не могли образоваться ударные волны (аналог разбивающихся и пенящихся океанских волн). При отсутствии давления и ударных волн схлопывающееся вещество не могло бы нагреться. Без тепла и давления не может начаться ядерная реакция и невозможно излучение. Без исходящего излучения, сбрасываемого в ядерных реакциях вещества, давления и ударных волн у звезды нет другого способа потерять свою массу. При изначальном запрете на потерю массы у тяжелой звезды не остается возможностей когда-нибудь уменьшить свою массу до двух солнечных и стать холодной мертвой нейтронной звездой. Неудивительно поэтому, что схлопывающиеся звезды Оппенгеймера порождали черные дыры. Такая идеализация, как заключил Уиллер, и не позволяла звездам сделать ничего больше!

В 1939 г., когда Оппенгеймер и Снайдер делали свою работу, было абсолютно безнадежным рассчитывать во всех деталях схлопывание с реальным давлением (термическое давление, давление вырождения и давление, порождаемое ядерными силами), с ядерными реакциями, ударными волнами, нагревом, излучением и выбросом массы. Однако за прошедшее двадцатилетие усилия, направленные на создание ядерного оружия, обеспечили ученых подходящим для этого инструментом. Давление, ядерные реакции, ударные волны, нагрев, излучение, выброс массы — все это является основными чертами водородной бомбы, без этого бомба не взорвется. Чтобы разработать водородную бомбу, требовалось все это учесть в компьютерных вычислениях.

Группа Уиллера, конечно, этим занималась. Поэтому теперь казалось совершенно естественным переписать компьютерные программы так, чтобы вместо моделирования взрыва водородной бомбы они моделировали взрыв массивной звезды. Это было бы вполне естественно при условии, если бы группа Уиллера все еще существовала. Однако теперь команда была распущена; они вместе написали доклад РМВ-31 и затем расseyались, чтобы учить, проводить физические исследования или стать администраторами в различных университетах и правительственных лабораториях.

Опыт создания американской бомбы теперь сконцентрировался в Лос-Аламосе и

новой правительственной лаборатории в Ливерморе (Калифорния). В Ливерморе в конце 1950-х Стирлинга Колгейта пленила проблема схлопывания звезд. С одобрения Эдварда Теллера и в сотрудничестве с Ричардом Уайтом (а позднее — с Майклом Мзем) Колгейт принялся за моделирование процесса схлопывания на компьютере. Модель Колгейта — Уайта — Мэя сохраняла часть идеализаций Оппенгеймера. Они взяли за основу, что схлопывающаяся звезда сферическая и не вращается. Без этих ограничений расчеты были бы невообразимо более сложными. Однако их модель принимала в расчет все то, что волновало Уиллера, — давление, ядерные реакции, ударные волны, нагрев, излучение, выброс массы — и делала это основательно, опираясь на опыт разработки бомбы и машинные коды. Для отладки программ моделирования потребовалось несколько лет, но к началу 1960-х они уже хорошо работали.

Однажды в начале 1960-х годов Джон Уиллер ворвался в аудиторию Принстонского университета, где он вел занятия по теории относительности и которые я, в то время аспирант, посещал. Он немного опоздал, но сиял от удовольствия. Уиллер только что вернулся из поездки в Ливермор, где увидел результаты последних расчетов Колгейта, Уайта и Мэя. Взволнованно он чертил на доске диаграмму за диаграммой, объясняя то, что обнаружили его ливерморские друзья.

Если схлопывающаяся звезда имеет малую массу, то она вызывает взрыв сверхновой и формирует черную дыру именно так, как предполагал тридцатью годами ранее Цвики. Когда масса звезды много больше максимума, равного двум солнцам, схлопывание (несмотря на давление, ядерные реакции, ударные волны, нагрев и излучение) порождает черную дыру. Процесс рождения черной дыры замечательным образом совпадал с сильно идеализированной моделью, рассчитанной почти 25 лет назад Оппенгеймером и Снайдером. Наблюдаемое снаружи схлопывание замедляется и совершенно замораживается при критической длине окружности, но если наблюдать с поверхности звезды, никакого замораживания не происходит. Поверхность звезды непрерывно, без всяких отклонений продолжает сжиматься все дальше, проходя критический размер.

Фактически для Уиллера это не явилось неожиданностью. Другие (о них речь пойдет позже) уже превратили его из критика черных дыр Оппенгеймера в их востор-

женного сторонника. Но здесь впервые появилось конкретное доказательство, полученное в ходе реалистичного компьютерного моделирования: схлопывание должно порождать черные дыры.

Был ли Оппенгеймер доволен подобным превращением, происшедшим с Уиллером? Нет, он не проявлял особого интереса и не выказывал удовольствия. На международной конференции в Далласе (Техас) в декабре 1963 г. по случаю открытия квазаров Уиллер сделал большой доклад о схлопывании звезд. В нем он восторженно описал расчеты 1939 г. Оппенгеймера и Снайдера. Оппенгеймер присутствовал на конференции, но во время доклада Уиллера сидел в холле на скамейке и болтал с друзьями на посторонние темы. Через 30 лет Уиллер с грустью вспоминал об этом событии.

В конце 1950-х годов Зельдовичу начала надоедать его работа по разработке оружия. Большая часть интересных проблем уже была решена. В поиске новых задач он часть своего времени обращал сначала на теорию элементарных частиц, а затем на астрофизику, продолжая руководить командой разработчиков бомбы на «Объекте», а также другой группой, проводящей вспомогательные расчеты в Институте прикладной математики в Москве.

В работе по созданию бомбы Зельдович «бомбардировал» свою команду идеями, а члены группы проводили вычисления, чтобы проверить, будут ли идеи работать. «Искры Зельдовича, а бензин его группы», — так это описывал Гинзбург. Обратившись к астрофизике, Зельдович сохранил свой стиль.

Схлопывание звезд было одной из астрофизических проблем, захвативших его воображение. Так же как и Уиллеру, Колгейту, Мэю и Уайту в Америке, ему было очевидно, что методы, разработанные при конструировании водородной бомбы, идеально подходили для математического моделирования схлопывающихся звезд.

Чтобы разгадать детали схлопывания, Зельдович взял в оборот нескольких молодых коллег: Дмитрия Надеждина и Владимира Имшенника из Института прикладной математики и Михаила Подурца с «Объекта». В серии интенсивных дискуссий он передал им свое видение того, как схлопывание звезд может моделироваться на компьютере, при учете всех ключевых эффектов, которые были столь же важны и

для водородных бомб: давления, ядерных реакций, ударных волн, теплоты, излучения, выброса массы.

Вдохновленные этими дискуссиями, Имшенник и Надеждин смоделировали схлопывание звезд малой массы, а также — независимо от Колгейта и Уайта в Америке — представления Цвики о сверхновых. Параллельно Подурец смоделировал схлопывание массивных звезд. Результаты Подурца, опубликованные почти одновременно с результатами Мэя и Уайта, были почти идентичны американским. Сомнений не оставалось: схлопывание порождает черные дыры, и именно таким образом, как предсказали Оппенгеймер и Снайдер.

Адаптация машинных программ разработки бомбы для моделирования схлопывания звезд — лишь одна из многих близких связей между ядерным оружием и астрофизикой. Эти связи были очевидны и Сахарову в 1948 г. Когда ему приказали вступить в группу разработчиков бомбы под руководством Тамма для освоения проблемы, он по-

грузился в изучение астрофизики. В 1969 г. неожиданно и я наткнулся на эту взаимосвязь.

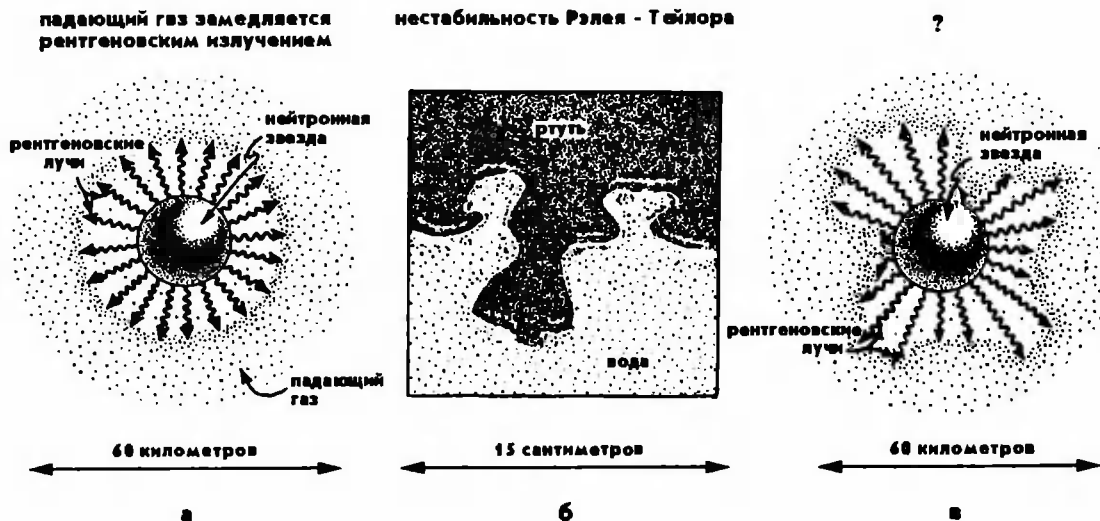
В действительности я никогда не стремился знать, в чем именно состоит идея Теллера—Улама/Сахарова—Зельдовича. Супербомба, которая (если исходить из главного достоинства их идеи) могла бы быть «сколь угодно мощной», казалась мне чем-то непристойным, и мне даже не хотелось рассуждать о том, как она работает. Однако в процессе поиска понимания роли нейтронных звезд во Вселенной идея Теллера—Улама проникла в мое сознание.

За несколько лет до этого Зельдович обратил внимание на то, что газ из межзвездного пространства или от близлежащей звезды, падая на нейтронную звезду, должен нагреваться и ярко светиться. Фактически газ должен стать настолько горячим, что сможет испускать в основном рентгеновские лучи высокой энергии, а не обычный, менее энергетичный свет. Падющий газ определяет уровень испускания рентгеновских лучей. Зельдович доказывал, что верно и обратное: рентгеновское излучение контролирует количество падающего газа. Таким образом, оба фактора — и газ, и рентген — работая сообща, дают устойчивый, саморегулируемый поток.

Если скорость газа при падении слишком велика, то он будет порождать много рентгеновского излучения и испускаемые рентгеновские лучи будут ударяться о падающий газ, создавая давление, направленное наружу, которое замедлит падение газа (рис. 1, а). Если же газ падает с малой

Рис. 1. Падающий газ определяет уровень испускания рентгеновских лучей.

а — газ, падающий на нейтронную звезду, замедляется давлением рентгеновского излучения; б — падающая в гравитационном поле Земли жидкая ртуть сдерживается лежащей ниже водой; в результате провалится неустойчивость Рэлея — Тейлора; в — может ли возникнуть неустойчивость Рэлея — Тейлора и для падающего газа, сдерживаемого рентгеновским излучением нейтронной звезды!



скоростью, он дает так мало рентгеновских лучей, что они будут не в состоянии замедлить падающий газ и падение будет увеличиваться. Существует только один уровень падения газа, не слишком высокий и не слишком малый, при котором рентгеновское излучение и газ находятся во взаимном равновесии.

Эта картина падения газа и рентгеновского излучения не давала мне покоя. Я хорошо знал, что если попытаться удержать плотную жидкость на Земле, такую, как жидкая ртуть, с помощью менее плотной жидкости, такой, как вода, находящаяся ниже, то языки ртути быстро проложат себе в воде дорожки вниз и ртуть моментально проскочет вниз, а вода поднимется вверх (рис. 1, б). Это явление называется нестабильностью Рэлея—Тейлора. В картине Зельдовича рентгеновские лучи подобны воде, имеющей малую плотность, а падающий газ — плотной ртути. Не «проедят» ли себе дорожку языки газа сквозь рентгеновские лучи, и не будет ли после этого газ свободно падать вдоль этих языков, разрушая саморегулирующийся поток Зельдовича (рис. 1, в)?

Тщательный расчет, проведенный в соответствии с физическими законами, помог бы мне узнать, происходит ли все это в действительности. Однако подобный расчет был бы очень сложным и отнял бы много времени, поэтому вместо того, чтобы делать его, однажды я решил поговорить об этом с Зельдовичем, когда мы обсуждали различные вопросы физики на его квартире в Москве в 1969 г.

Я задал вопрос, Зельдович выглядел немного смущенным, но его ответ был уверенным: «Нет, Кип, этого не происходит. В рентгеновских лучах нет языков. Поток газа стабилен».

«Откуда вы знаете, Яков Борисович?» — спросил его я. Удивительно, но ответа я не смог получить. Казалось ясным, что Зельдович (или кто-то еще) проделал детальный расчет или эксперимент, показывающий, что рентгеновское излучение может оказывать давление на газ без образования языков Рэлея — Тейлора, разрушающего это давление. Но Зельдович не мог мне указать на такой расчет или эксперимент, описанный в опубликованной работе, не мог он мне описать и физику происходящего. Как это было для него нехарактерно!

Несколькими месяцами позже я путешествовал с Колгейтом в горах Калифорнии. (Колгейт, один из лучших экспертов в Америке по течению жидкости и излу-

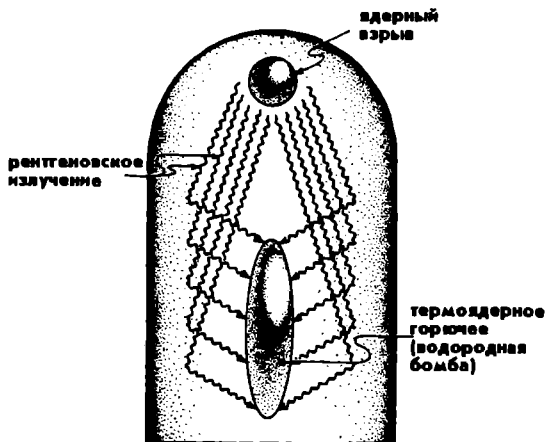


Рис. 2. Схематический рисунок, показывающий один из аспектов идеи конструкции водородной (супер)бомбы Теллера — Улама.

Ядерный взрыв (атомная бомба как запал) порождает интенсивное рентгеновское излучение, которое каким-либо образом фокусируется на термоядерном горючем (дейтерид лития, LiD). Рентгеновское излучение предположительно должно нагреть горючее и помочь сжимать его в течение времени, достаточного для начала реакции термоядерного синтеза.

Технология фокусировки рентгеновских лучей и другие практические проблемы настолько труднопреодолимы, что знание этой доли «секрета» Теллера — Улама составляет бесконечно малый отрезок пути к созданию действующей супербомбы.

чению, был глубоко вовлечен в американский проект супербомбы на его последнем этапе и был одним из тех трех ливерморских физиков, которые смоделировали схлопывание звезд на компьютере.) Когда мы там путешествовали, я поставил перед Колгейтом тот же, самый вопрос, который раньше задавал Зельдовичу, и мне был дан тот же самый ответ: поток устойчив; газ не может обойти силы давления рентгеновского излучения образованием языков.

«Откуда ты знаешь, Стирлинг?» — спросил я. «Это было показано», — ответил он. «Где я могу найти этот расчет или результаты эксперимента?» — спрашиваю я. «Не знаю...»

«Это очень странно», — заявил я Стирлингу. — Зельдович сказал мне в точности то же самое — поток стабилен. Но он, как и ты, не представил мне никаких доказательств.»

«О! Это очаровательно. Значит, Зельдович действительно знал», — ответил Стирлинг. И тогда я все понял. Я не хотел знать, но вывод напрашивался сам собой. Идея Теллера — Улама, судя по всему, состояла в использовании рентгеновского излу-

ния, испущенного в первую микросекунду начала распада [атомной бомбы], для того, чтобы помочь сжать и поджечь термоядерное горючее супербомбы (рис. 2). То, что это действительно было частью идеи Теллера — Улама, было подтверждено в 1980-х несколькими открытыми публикациями в Америке, иначе я бы об этом здесь не упоминал.

Что заставило Уиллера превратиться из скептика по отношению к черным дырам в их сторонника и защитника? Компьютерная модель схлопывающихся звезд стала лишь окончательным подтверждением этого превращения. Гораздо более важным было разрушение ментального блока. Этот ментальный барьер был распространен в среде физиков-теоретиков с 1920 по 1950-е годы. Частично на него повлияла та самая сингулярность Шварцшильда, перенесенная затем на черные дыры. Частично повлиял и загадочный, кажущийся парадоксальным вывод из упрощенных расчетов Оппенгеймера и Снайдера, состоящий в том, что схлопывающаяся звезда оказывается навсегда замороженной на критической окружности («сингулярность Шварцшильда»), с точки зрения покоящегося внешнего наблюдателя, но быстро схлопывается, пройдя через точку замораживания и далее, при наблюдении с поверхности звезды.

В Москве Ландау и его коллеги, хотя и верили в расчеты Оппенгеймера и Снайдера, столкнулись с серьезными проблемами, пытаясь примирить эти две системы отсчета. «Трудно оценить, насколько тяжело человеческому уму понять, как эти две точки зрения могут быть одновременно правильными», — рассказывал мне несколько лет спустя Евгений Лившиц, ближайший друг Ландау.

В один из дней 1958 г. — того же года, в котором Уиллер атаковал выводы Оппенгеймера и Снайдера, в Москву пришел выпуск «Physical Review» со статьей Дэвида Финкельштейна, неизвестного постдока из малоизвестного американского университета — Стивенсоновского института технологии в Хобокене (Нью-Джерси). Ландау и Лившиц прочли статью. Неожиданно все стало ясно.

В том же году Финкельштейн посетил Англию и прочел лекции в Королевском

колледже в Лондоне. Роджер Пенроуз (позже он коренным образом изменит наше понимание того, что происходит внутри черной дыры) поездом приехал в Лондон, чтобы послушать лекцию Финкельштейна, и восторженный вернулся в Кембридж.

Уиллера в Принстоне идея Финкельштейна сначала заинтриговала, но полностью он ее не принял. Со временем, но лишь постепенно, в ходе исследований нескольких лет, он с ней согласится. Уиллер все воспринимал медленнее, чем Ландау или Пенроуз, мне кажется, потому, что он видел глубже. Он был зациклен на представлении о том, что квантовая гравитация может вынуждать нуклоны (нейтроны и протоны) внутри схлопывающейся звезды превращаться в излучение и таким образом избежать схлопывания. И казалось, что это представление невозможно совместить с идеей Финкельштейна. Тем не менее, в определенном глубоком смысле, и воззрения Уиллера, и идея Финкельштейна были правильными.

Так в чем же состояла идея Финкельштейна?

Финкельштейн открыл (довольно случайно и всего в две математические строчки) новую систему отсчета, в которой можно описывать геометрию пространства-времени Шварцшильда. Мотивы исследования у Финкельштейна были другие, и он не провел связи между своей новой системой отсчета и схлопыванием звезд. Однако для других исследователей выводы его новой системы отсчета были ясны: она открыла им совершенно новую перспективу на схлопывающиеся звезды.

Геометрия пространства-времени вне сжимающейся звезды при этом совпадает с геометрией Шварцшильда, и, таким образом, схлопывание звезды может быть описано с использованием новой системы отсчета Финкельштейна. Его система существенно отличалась от тех, с которыми мы ранее встречались. Большинство из них (воображаемые лаборатории) были малы, и все составляющие каждой системы отсчета (верх, низ, стороны, середина) покоились друг относительно друга. В противоположность этому система отсчета Финкельштейна была настолько велика, что одновременно включала области пространства-времени далеко от звезды, области вблизи нее и все промежуточные области.

Еще важнее то, что различные части этой системы отсчета находятся в движении друг относительно друга. Части, расположенные далеко от звезды, остаются статичными, т. е. не сжимаются, тогда как

¹ Подход Финкельштейна в действительности был найден еще раньше, в другой связи, другими физиками, включая Эддингтона, но они не поняли его важности, и все было быстро забыто.

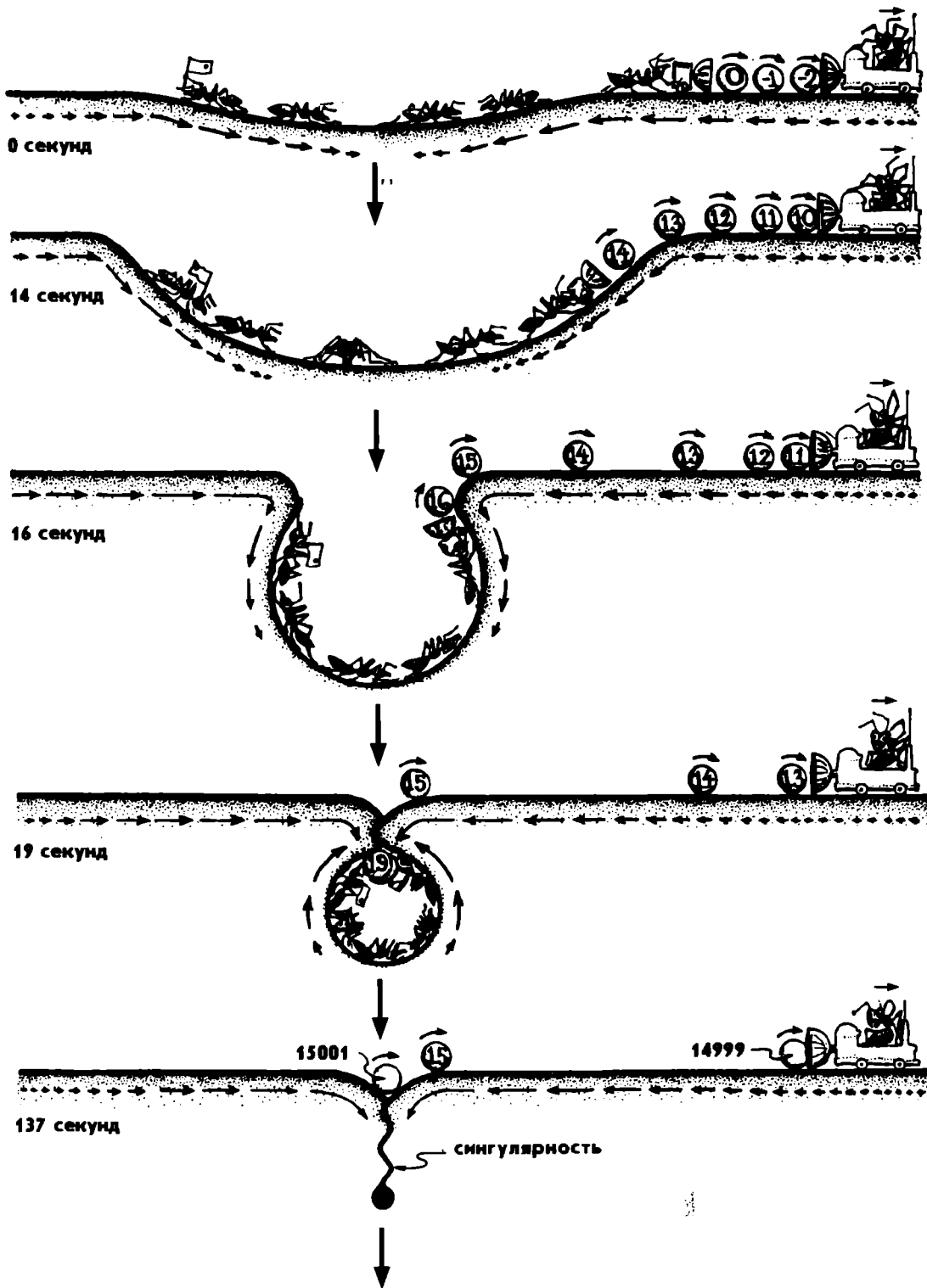


Рис. 3. Проваливающаяся резиновая мембрана, населенная муравьями. Она дает наглядную аналогию гравитационного схлопывания звезды с образованием черной дыры. [Адаптация К. Торна, 1967.]

части вблизи звезды падают внутрь, вместе со звездной поверхностью.

Соответственно, система отсчета Финкельштейна могла быть использована для одновременного описания схлопывания звезды как с точки зрения удаленного покоящегося наблюдателя, так и с точки зрения наблюдателей, едущих внутрь, вместе со схлопывающейся звездой. Получающееся описание прекрасно примиряло замораживающие схлопывания для удаленного наблюдателя и продолжающееся движение при наблюдении с поверхности звезды.

В 1962 г. два члена принстонской исследовательской группы Уиллера — Дэвид Бекедорф и Чарльз Мизнер — построили последовательность вложенных диаграмм с целью проиллюстрировать это согласие. А в 1967 г. для статьи в «Scientific American» я преобразовал их вложенные диаграммы в следующую причудливую аналогию.

Когда-то на поверхности большой резиновой мембраны жили шесть муравьев (рис. 3). Эти муравьи, будучи весьма умными, научились общаться с помощью сигнальных мячей, катящихся с постоянной скоростью («скоростью света») по поверхности мембраны. К сожалению, муравьи не могли вычислять натяжение мембраны.

Однажды случилось так, что пять муравьев собрались вместе вблизи центра мембраны, и их общий вес привел к тому, что мембрана начала обваливаться под ними. Они оказались в ловушке, так как не могли ползти достаточно быстро, чтобы выбраться. Шестой муравей — муравей-астроном — находился достаточно далеко, вместе со своим телескопом, работающим по принципу сигнальных мячей. Как только мембрана начала обваливаться (коллапсировать), пойманные муравьи стали отправлять сигнальные мячи муравью-астроному, так что он мог следить за их судьбой.

Проваливающаяся мембрана помогает понять две вещи. Во-первых, ее поверхность сжимается внутрь, затягивая окружающие объекты к центру провала — точно так же, как гравитация схлопывающейся звезды притягивает объекты к своему центру. Во-вторых, мембрана прогибается и становится искривленной, чашеобразной формы,

аналогичной искривленной форме пространства вокруг схлопывающейся звезды.

По мере развития коллапса поверхность мембраны сжималась все быстрее и быстрее. В результате сигнальные мячи, которые с одной и той же скоростью посылали попавшиеся муравьи, муравей-астроном получал через все большие временные интервалы (что аналогично покраснению света от схлопывающейся звезды). Мяч номер 15 был послан через 15 секунд после начала обвала, точно в момент, когда попавшиеся муравьи проходили критическую длину окружности мембраны. Этот мяч навсегда остался на этой критической окружности, поскольку здесь мембрана сжималась точно со скоростью движения мячей (скоростью света). Лишь за 0,001 долю секунды до достижения критической окружности муравьи послали мяч номер 14999. Этот мяч, едва опережающий сжатие мембраны, не достиг муравья-астронома вплоть до наступления 122-й секунды после начала катастрофы. Мяч номер 15001, посланный через 0,001 секунды после прохождения критической окружности, оказался неумолимо затянут в сильно искривленную область и обрушился вместе с пятью попавшимися муравьями.

Однако муравей-астроном никогда не сможет узнать о катастрофе, он никогда не получит сигнальный мяч номер 15 или любой другой, пущенный после него. А тем, которые пущены как раз до него, понадобится настолько много времени, чтобы долететь, что этому муравью будет казаться, что обвал замедлился и заморозился как раз при критической длине окружности.

Эта аналогия замечательно достоверно воспроизводит поведение схлопывающейся звезды.

1. Форма мембраны в точности воспроизводит искривление пространства вокруг звезды (как это отражено на последовательных диаграммах).

2. Движение сигнальных мячей по мембране в точности такое же, как и движение фотонов света в искривленном пространстве схлопывающейся звезды. А именно, сигнальные мячи движутся со скоростью света, локально измеренной любым муравьем по отношению к мембране, и тем не менее мячам, пущенным как раз перед номером 15, требуется очень много времени, чтобы вылететь, — так много, что муравью-астроному кажется, что обвал прекратился. Точно так же фотоны, испущенные с поверхности звезды, движутся со скоростью света, если любой наблюдатель проведет локальные измерения, и тем не ме-

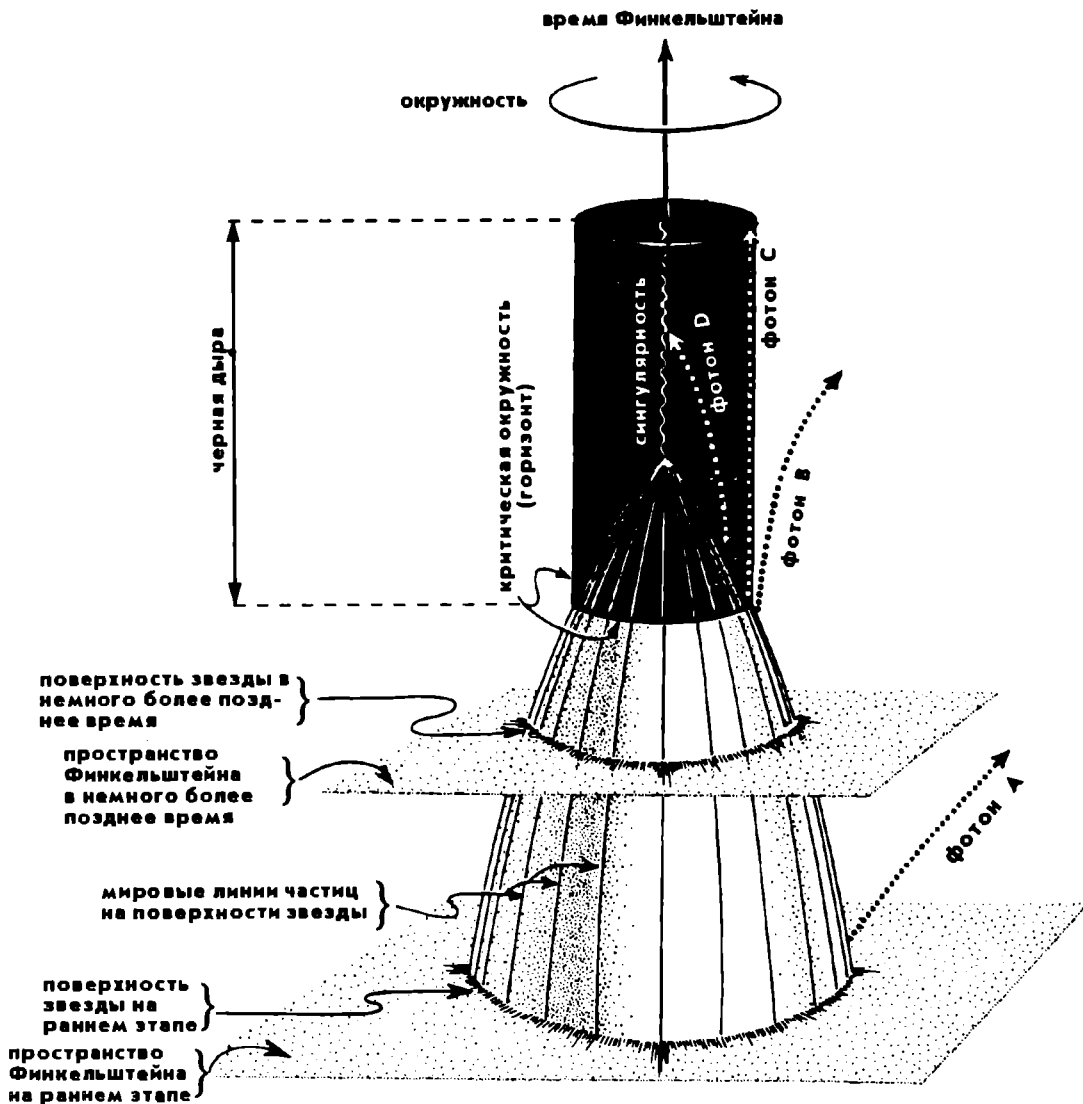


Рис. 4. Пространственно-временная диаграмма, отображающая схлопывание звезды в черную дыру. По вертикали отложено время, измеренное в системе отсчета Финкельштейна. По горизонтали отложены два из трех измерений пространства в этой системе отсчета. Горизонтальные срезы являются двумерными мгновенными «снимками» схлопывающейся звезды и порождаемой черной дыры в выбранные моменты времени по Финкельштейну с опущенной пространственной кривизной.

нее фотонам, излученным как раз перед тем, как звезда сожмется до критической окружности (ее горизонта), понадобится очень много времени, чтобы вылететь, поэтому внешнему наблюдателю схлопывание будет казаться замороженным.

3. Попавшиеся муравьи вообще не видят замедления при критической окружности. Они безостановочно засасываются, проходя через критическую окружность, и проваливаются вниз. Точно так же каждый находящийся на поверхности схлопывающейся звезды не увидит замораживания сжатия. Он будет испытывать безостановочное схло-

пывание и будет раздавлен приливными силами.

Аналогия эта, переведенная в последовательные диаграммы, и была тем самым новым пониманием, рожденным новой системой координат Финкельштейна. При таком подходе к схлопыванию в нем больше не остается никакой тайны. Схлопывающаяся звезда действительно сжимается, без колебаний пересекая критическую окружность. А то, что она кажется замерзшей при наблюдении издали, — просто иллюзия.

Последовательные диаграммы-притчи о попавшихся муравьях раскрывают только некоторые стороны понимания, пришедшего с новой системой координат Финкельштейна, однако отнюдь не все. Дальнейшее проникновение в суть проблемы отражено на рис. 4, который является диаграммой пространства-времени для схлопывающейся звезды.

Те пространственно-временные диаграммы, с которыми мы сталкивались до сих пор, лежали в плоском пространстве-времени специальной теории относительности. На рис. 4 выбрана система отсчета Финкельштейна. Соответственно, горизонтально мы чертим две из трех пространственных координатных осей, измеренных в системе Финкельштейна («пространство Финкельштейна»), а вертикально — время в этой системе («время Финкельштейна»). Так как вдали от звезды система отсчета Финкельштейна статична (не схлопывается), время Финкельштейна здесь то же, что и у неподвижного наблюдателя. И поскольку вблизи звезды система отсчета Финкельштейна падает внутрь вместе со схлопывающейся поверхностью, время Финкельштейна здесь то же, что и время, испытываемое падающим наблюдателем.

На схеме приведены два горизонтальных разреза. Они изображают два размера звезды в отдельные моменты времени, но с убранным пространственной кривизной, так что пространство выглядит плоским. В частности, окружности вокруг центра звезды на этих срезах отражены верно, а радиусы (расстояния от центра) — неверно. Чтобы правильно отобразить и радиусы, и окружности, нам следует использовать вложенные схемы, подобные тем, которые были приведены в начале главы (см. «Природа», № 6), или тем, что присутствовали в притче про муравьев (см. рис. 3). Тогда кривизна пространства была бы ясно видна: окружности были бы меньше, чем величина 2π , умноженная на радиус. Рисуя горизонтальные разрезы плоскими, мы искусственно убираем их кривизну. Такое некорректное уплощение пространства — це-

на, которую мы платим за то, чтобы сделать схему наглядной. В обмен мы получаем возможность видеть и пространство, и время на одной и той же наглядной схеме.

На самом раннем этапе, показанном на схеме (нижний горизонтальный срез), звезда, при отсутствии одного пространственного измерения, представляет собой область внутри большой окружности; если вернуть недостающее измерение, то звезда будет изображаться как внутренняя область большой сферы. В более позднее время (второй срез) звезда уменьшается в размерах, и теперь она изображается внутренней областью меньшего круга. Затем звезда проходит критическую длину окружности, а еще позже она схлопывается до нулевой окружности, создавая в этом месте сингулярность, в которой, в соответствии с общей теорией относительности, звезда прекращает существование. Мы не будем обсуждать детали этой сингулярности, но важно понять, что это есть нечто совершенно отличное от «сингулярности Шварцшильда», о которой физики говорили с 20-х по 50-е годы. «Сингулярность Шварцшильда» была обозначением плохо представляемой ими критической окружности или черной дыры; а наша «сингулярность» — объект, расположенный в центре черной дыры.

Собственно черная дыра — это область пространства-времени, показанная на диаграмме черным, т. е. область внутри критической окружности и в будущем — поверхности схлопывающейся звезды. Поверхность черной дыры (ее горизонт) находится на критической окружности.

На диаграмме также показаны мировые линии (траектории в пространстве-времени) некоторых частиц, закрепленных на поверхности звезды. Если следовать глазом вверх по схеме (т. е. по течению времени), становится видно, что эти линии движутся все ближе и ближе к центру звезды (к центральной оси диаграммы). Подобное движение демонстрирует сжатие звезды во времени.

Большой интерес представляют мировые линии четырех фотонов (четыре частицы света), которые аналогичны сигнальным мячам в истории с муравьями. Фотон А излучается наружу с поверхности звезды в тот момент, когда звезда начинает схлопывание (нижнее сечение). Он легко выбирается наружу с течением времени (при движении глаза вверх по схеме), достигая все больших окружностей. Фотону В, испущенному незадолго до того, как звезда пере-

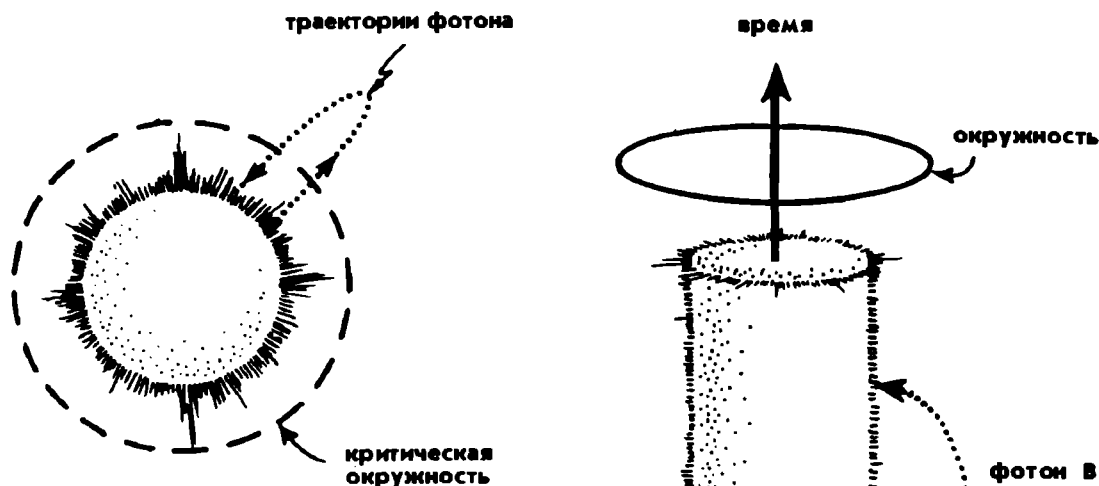


Рис. 5. Предсказания движения световых корпускул (фотонов), испущенных звездой внутри критической окружности, вытекающие из законов физики Ньютона. Слева — пространственная диаграмма; справа — пространственно-временная диаграмма.

сечет критическую окружность, потребуется много времени, чтобы вылететь; в истории про муравьев он аналогичен мячу номер 14999. Фотон С, испущенный точно с критической окружности, навсегда здесь и останется, так же, как и сигнальный мяч номер 15. А фотон D, выпущенный изнутри критической окружности (изнутри черной дыры), никогда не выберется наружу; он окажется затянутым в сингулярность интенсивной гравитацией черной дыры, в точности, как мяч номер 15001.

Интересно такое современное понимание распространения света, испущенного с поверхности схлопывающейся звезды, противопоставить предсказаниям XVIII в. поведения света, излученного звездой, размер которой меньше, чем ее критическая окружность.

Напомним, что в конце XVIII столетия Джон Митчел в Англии и Пьер Симон Лаплас во Франции воспользовались законами гравитации Ньютона и корпускулярным описанием света Ньютона, чтобы предсказать существование черных дыр. Эти «ньютоновские черные дыры» фактически представляли собой статичные звезды столь малого размера (меньше, чем критическая длина окружности), что гравитация не позволяла свету покинуть окрестность звезды.

Левая часть рис. 5 (диаграмма пространства, а не пространства-времени) пока-

зывает такую звезду внутри критической окружности, а также пространственную траекторию фотона (левая частица), испущенного почти вертикально (по радиусу) с поверхности звезды. Вылетающий подобно камню фотон замедляется притяжением гравитации звезды, останавливается и затем падает на звезду.

Правая часть рисунка изображает пространственно-временную диаграмму движения двух таких фотонов. Вверх отложено универсальное ньютоново время, в стороны — ньютоново абсолютное пространство. С течением времени круглая звезда заменяет вертикальный цилиндр, в любой момент времени (если провести горизонтальный разрез на диаграмме) звезда изображается точно таким же кругом, как на левой картинке. По прошествии времени фотон А летит и падает обратно на звезду, и фотон В, выпущенный немного позже, делает то же самое.

Поучительно сравнить это (неверное) ньютоновское представление звезды внутри ее критической окружности и излучаемых ею фотонов с (правильной) релятивистской версией, приведенной на рис. 4. Сравнение выявляет два существенных различия между предсказаниями законов Ньютона и законов Эйнштейна.

1. Законы Ньютона (см. рис. 5) разрешают звезде размером меньшим, чем ее критическая окружность, вести «счастливую жизнь», не схлопываясь, с гравитационным сжатием, полностью уравновешенным внутренним давлением. Законы Эйнштейна (см. рис. 4) настаивают, что в любой звезде, имеющей размер меньший ее критической окружности, гравитационное сжатие будет настолько сильным, что никакое внутреннее давление не сможет его уравновесить. У звезды нет другого выбора, как схлопываться.

2. Законы Ньютона (см. рис. 5) предсказывают, что фотоны, испущенные с поверхности звезды, сначала будут отлетать к большим окружностям, даже в некоторых случаях — к окружностям, большим критической, и затем будут притянуты назад. Законы Эйнштейна (см. рис. 4) требуют, чтобы любой фотон, испущенный внутри критического радиуса, двигался все время ко все меньшим и меньшим окружностям. Единственная возможность такому фотону покинуть поверхность звезды заключается в том, чтобы сама звезда сокращалась быстрее, чем движется внутрь направленный наружу фотон (см. рис. 4).

Несмотря на то, что открытие Финкельштейна и результаты компьютерного моделирования с помощью программ, написанных для разработки бомбы, полностью убедили Уиллера в том, что схлопывание массивной звезды должно формировать черную дыру, судьба схлопывающегося звездного вещества в 60-е годы продолжала его беспокоить так же, как она беспокоила его и в Брюсселе в 1958 г. во время их столкновения с Оппенгеймером. Общая теория относительности настаивала на том, что звездное вещество будет раздавлено и перестанет существовать в сингулярности в центре звезды, но такое предсказание представлялось физически неприемлемым.

Уиллеру казалось ясным, что законы общей теории относительности в центре черной дыры должны перестать работать, и потому их необходимо заменить новыми законами — квантовой гравитации, которые должны прекратить раздавливание. Возможно, рассуждал Уиллер, основываясь на

взглядах, изложенных им в Брюсселе, новые законы превратят схлопывающееся вещество в излучение, которое квантово-механически «туннелирует» из черной дыры и вылетит в межзвездное пространство. Чтобы проверить эти рассуждения, требовалось глубокое проникновение в союз квантовой механики и релятивистской теории. В этом состояла красота умозаключений. Они были пробным камнем и помогали открыть новые законы квантовой гравитации.

Будучи студентом Уиллера в 1960 г., я думал, что рассуждения о веществе, превращающемся в излучение в сингулярности и затем туннелирующем из черной дыры, являются довольно еретическими. Как мог Уиллер верить в такое?

Новые законы квантовой гравитации, конечно, были важны в сингулярности в центре звезды, как и утверждал Уиллер. Но не вблизи критической окружности. Критическая окружность лежала в «области большого», где общая теория относительности должна быть очень точна — а законы общей теории относительности были однозначны: ничто не может вылететь из критической окружности. Гравитация удерживает все внутри. Поэтому не может быть никакого «квантово-механического туннелирования» (что бы оно собой ни представляло), позволяющего вылететь излучению. Я был в этом твердо убежден.

В 1964 и 1965 гг. Уиллер и я вместе с Харрисоном и Вакано написали специальную книгу о холодных мертвых звездах и звездном схлопывании. Я был шокирован, когда Уиллер настоял на включении в последнюю главу своих рассуждений о том, что излучение может туннелировать из черной дыры в межзвездное пространство. В последнем сражении, пытаясь убедить Уиллера удалить из книги эти его рассуждения, я обратился за помощью к Дэвиду Шарпу, одному из постдоков Уиллера. Дэвид и я энергично спорили с Уиллером в трехстороннем телефонном разговоре, пока наконец Уиллер не сдался.

Уиллер оказался прав, а Дэвид и я ошибались. Десятью годами позже Зельдович и Стивен Хокинг используют вновь разработанное частичное соединение общей теории относительности и квантовой механики, чтобы математически доказать, что излучение может туннелировать из черной дыры, хотя и очень, очень медленно. Другими словами, черные дыры могут испаряться, но настолько медленно, что сформировавшейся при схлопывании звезды черной дыре, чтобы исчезнуть, потребуется время,

гораздо большее, чем возраст нашей Вселенной.

Имена, которые мы даем разным вещам, действительно важны. Агенты кинозвезд, менявшие имена своим клиентам (Норма Джин Беккер — на Мэрилин Монро, а Бела Бласко — на Бела Лугоси), хорошо это знали. То же — и у физиков. В киноиндустрии имя помогает задать тон, настрой, в котором зритель воспринимает кинозвезду: очарование в случае с Мэрилин Монро и ужас — с Бела Лугоси. В физике название помогает установить угол зрения, под которым мы смотрим на физическую концепцию. Хорошее название может вызвать мысленный образ, который подчеркнет самые важные свойства этой концепции, и потому поможет включиться на уровне подсознания (некоторым интуитивным образом) процессу исследования. Плохое имя может установить ментальные блоки, которые будут препятствовать исследованиям.

Возможно, ничто так не влияло, мешая физикам в период с 1939 по 1958 г. понять схлопывание звезд, как название, которое они использовали для обозначения критической окружности: «сингулярность Шварцшильда». Слово «сингулярность» вызвало образ области, где гравитация становится бесконечно велика, что ломало все известные законы физики, — образ, который, как мы теперь понимаем, справедлив лишь для объекта в центре черной дыры, но не для критической окружности. Этот образ сделал трудным для физиков принятие вывода Оппенгеймера—Снайдера о том, что едущий на схлопывающейся звезде и проходящий через сингулярность Шварцшильда (критическую окружность) не почувствует бесконечной гравитации и не увидит крушения физических законов.

Насколько же в действительности не-сингулярна была сингулярность Шварцшильда (критическая окружность), не было ясно до тех самых пор, пока Дэвид Финкельштейн не открыл свою новую систему координат и не использовал ее, чтобы показать, что сингулярность Шварцшильда не является ничем больше, кроме как местом, в которое все может проваливаться, но откуда ничего не может выйти — и потому это такое место, в котором мы снаружи ничего не можем увидеть. Как показывает система отсчета Финкельштейна, схлопывающаяся звезда продолжает существовать после того, как погружается в сингулярность Шварцшильда, точно так же, как и Солнце продолжает существовать после того, как оно на Земле скрывается за горизонт. Но так же как

и мы, сидя на Земле, не можем видеть Солнце за горизонтом, так и наблюдатели вдали от схлопывающейся звезды не могут ее видеть после того, как она сожмется меньше сингулярности Шварцшильда. Эта аналогия в 1950 г. послужила мотивом Вольфгангу Риндлеру, физика из Корнеллского университета, давшему сингулярности Шварцшильда (критической окружности) новое название, название, с тех пор прочно утвердившееся, — горизонт.

Оставался еще вопрос, как именовать объект, образующийся при схлопывании звезды. С 1958 по 1968 г. на Востоке и на Западе применяли различные названия: советские физики использовали название, которое выделяло то, как выглядит схлопывание для удаленного астронома. Вспомним, что из-за того, что свету невероятно трудно вырваться из гравитационных тисков, издали кажется, что схлопывание будет продолжаться вечно и поверхность звезды никогда не достигнет критической окружности, а горизонт никогда не образуется. Астроному кажется (или казалось бы, если бы его телескоп был достаточно мощным, чтобы наблюдать схлопывающиеся звезды), как будто звезда оказывается замороженной как раз вне критической окружности. По этой причине советские физики называли объект, образующийся при схлопывании, замерзшей звездой, и это название помогло им задать тон и угол зрения в их исследованиях схлопывания в 60-х.

Наоборот, на Западе выделялась точка зрения наблюдателя, едущего на поверхности схлопывающейся звезды через горизонт внутрь, к настоящей сингулярности, и создающийся при этом объект был назван поэтому сколлапсировавшей (обрушившейся) звездой. Это название помогло сфокусировать внимание физиков на вопросах, ставших главной заботой Джона Уиллера: природе сингулярности, в которой соединятся квантовая физика и кривизна пространства-времени.

Но ни одно название не было вполне удовлетворительно. Ни одно не обращало особое внимание на горизонт, окружающий коллапсирующую звезду, который отвечает за иллюзию «замерзания» звезды. В течение 60-х годов расчеты физиков последовательно открывали огромную важность горизонта, и постепенно Уиллер (которого, как никого другого, волновала проблема оптимального названия) стал ощущать все большее неудовлетворение.

Медитировать о словах, которыми мы называем различные вещи, расслабляясь в

ванной или лежа вечером в постели, было вполне в духе Уиллера. Иногда таким образом он мог месяцами искать для чего-нибудь подходящее имя. Таким же был и его поиск замены «замерзшей»/«сколлапсировавшей» звезде. Наконец в конце 1967 г. он нашел совершенное название.

В типичном для Уиллера стиле он не побежал к своим коллегам со словами: «Я нашел потрясающее новое название, давайте отныне будем называть это та-та-та-та». Все нет, он просто начал применять его так, как будто никакого другого названия раньше никогда не существовало, как будто все уже согласилось, что это как раз подходящее название. Он опробовал его на конференциях по пульсарам в Нью-Йорке поздней осенью 1967 г. и затем прочно утвердил его на лекции в декабре 1967 г. в Американской ассоциации успехов науки, озаглавленной «Наша Вселенная: известное и неизвестное». Те из нас, кто там не присутствовал, впервые столкнулись с этим новым названием в печатной версии его лекции. «Вследствие все более и более быстрого падения [поверхность схлопывающейся звезды] убегает от [удаленного] наблюдателя

все быстрее и быстрее. Свет сдвигается в красную область. Он с каждой миллисекундой становится все бледнее и бледнее и меньше чем за секунду становится слишком темным, чтобы его можно было видеть... [Звезда], как Чеширский кот, постепенно исчезает. Кот оставляет после себя улыбку, а звезда — только гравитационное притяжение. Гравитационное притяжение — да, а свет — нет. Не больше могут сделать и частицы. Более того, свет и частицы, направленные снаружи... двигающиеся к черной дыре, лишь добавляются к ее массе и увеличивают гравитационное притяжение».

Черные дыры — таково было новое название, предложенное Уиллером. В течение одного месяца оно было с энтузиазмом воспринято физиками-релятивистами, астрофизиками и широкой публикой и на Востоке, и на Западе. За одним исключением: во Франции, где фраза *trou noir* (черная дыра) имеет непривычный оттенок, сопротивление продолжалось несколько лет.

(Продолжение следует)

Перевод с английского М. Л. Городецкого

НОВОСТИ НАУКИ

Археология

Древнейшие мореходы

Объединенная группа французских и итальянских археологов, руководимая С. Клезиу (S. Cleuziou; Национальный центр научных исследований в Париже) и М. Тоси (M. Tosi; Неаполитанский университет), в течение нескольких лет ведет работы на Аравийском побережье Индийского океана. Недавно в крайней восточной точке Аравийского п-ова — на мысе Рас-аль-Джуньяз (султанат Оман) — они обнаружили остатки древнейших среди ныне известных судов, совершавших плавание в океане.

На крупных комьях битума (естественного асфальта) отлично сохранились отпечатки связок тростника от бортов и днищ судов, веревок, канатов и травяных настилов. На многих

комьях (общее их число достигает 300) с одной их стороны хорошо различимы обычно обрастающие днища моллюски — свидетельство того, что материал, на котором они росли, немало времени пребывал в морской воде. В районе этих находок, где современные рыбаки арабы брали битум для смоления лодок, обнаружены также развалины древних жилищ.

Вместе с остатками судов, каждое из которых имело не менее 20 м в длину, найдены обломки глиняных сосудов, служивших, очевидно, для хранения и перевозки масла и других пищевых продуктов; предметы материальной культуры, характерные для долины Инда (ныне территории Пакистана и северо-западной Индии): гребень слоновьей кости, медная печать, принадлежавшая торговцу, множество бус, изготовленных из

косточек кизила. Медный топор и целое медное ожерелье, тоже добытые при раскопках, не оставляют сомнений в определении места происхождения этих находок.

Они доказывают, что 4300 лет назад (так оценивается их возраст) между Аравией и северо-западным побережьем Индостана существовали торговые и культурные связи, а тогдашние мореходы могли на тростниковых просмоленных судах с большим грузом пройти свыше 800 км по просторам Индийского океана.

Где и каким народом строились эти суда, пока не ясно. Это будет установлено после химического анализа битума и ботанического обследования отпечатков, оставленных на нем тростником и другими растениями.

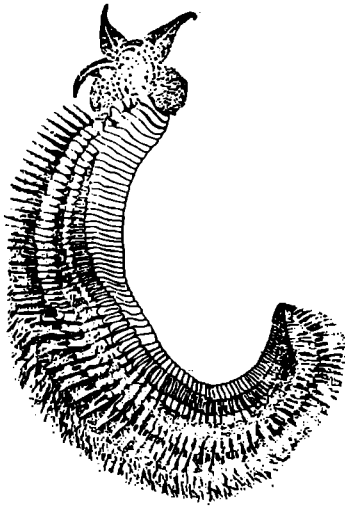
New Scientist. 1993. V. 138. N 1879. P. 4 (Великобритания).

Черви, которые любят жить на горячей сковородке

К. Н. Несис,
доктор биологических наук
Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН
Москва

ОЧЕНЬ немногие животные способны оставаться днем под тропическим солнцем. Все живое прячется в тень или норы, и лишь некоторые пустынные насекомые (в частности, муравьи) и паукообразные могут переносить температуру тела до 50—65 °С. То же и в пресных водах: в горячих источниках беспозвоночные выносят температуру до 50 °С, простейшие, водоросли и грибы — до 56—62 °С и только некоторые бактерии и синезеленые водоросли — выше. Но в глубинах океана, в горячих гидротермальных излияниях, где температура истекающей воды из-за высокого гидростатического давления достигает 250—400 °С, жизнь процветает. Разумеется, в самом устье излияния никакие живые организмы не лезут, но сероводородокисляющие археобактерии¹ способны переносить температуру воды 105 и даже 110 °С.

Какую максимальную температуру могут переносить более высокоорганизованные существа, и кто они, эти любители горячего? Похоже, что самые теплолюбивые беспозвоночные — «помпейские черви», многощетинковые черви из рода *Alvinella* (семейство *Alvinellidae*). Название «альвинелла» происходит от подводного аппарата «Альвин», с помощью которого их открыли в 1979 г. Д. Дебрюйер и Л. Лобье из французского института по исследованию моря (IFREMER), а название «помпейский



Помпейский червь *Alvinella pompejana* с немногочисленными сегментами и длинными дорсальными папьялами.

червь» — от того, что тела альвинелл обычно сплошь покрыты частицами серы, как Помпеи — пеплом Везувия. Эти довольно крупные (*Alvinella pompejana* достигают 15—20 см в длину) и толстые черви живут в белых кожистых трубках, которые они сооружают на стенках белых курильщиков и на наружных стенках «каминных труб» черных курильщиков². Альвинеллы свободно двигаются в трубках, могут выползать из них и плавать вокруг. Живут они в симбиозе с сероводородокисляющими хемосинтетическими бактериями, и только на горячих излияниях с тем-

пературой не ниже 50 °С. Там они развиваются в огромных количествах и образуют чудовищную для абиссальных глубин биомассу — до 2200—2400 г/м². Измерения температуры воды с обитаемого подводного аппарата показали³, что вдали от колоний червей она составляет 1,7—2 °С, на уровне отверстий трубок, т. е. у передних концов тела червей, — 20—35 °С, в толще трубок, в 10 см от их передних концов — 100 °С, а у оснований трубок, в 20 см от переднего конца — уже 250 °С. Но это на наружной стороне трубок, а как внутри? Ведь температура на наружной и внутренней стороне космического или пожарного скафандра, мягко говоря, несколько различается...

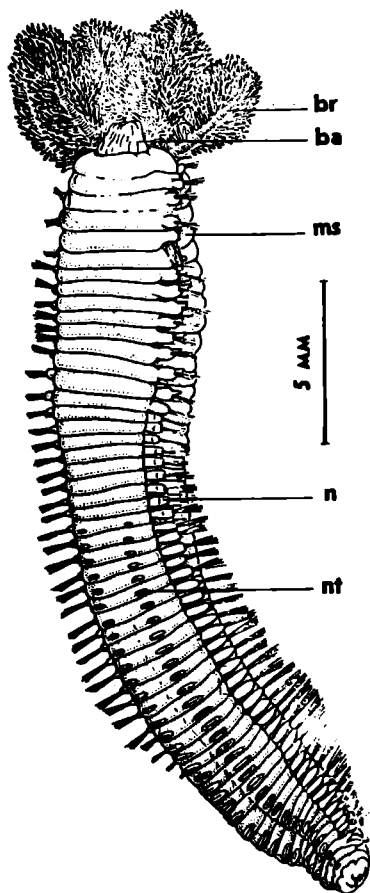
Такие наблюдения были проведены в октябре 1991 г. и апреле 1992 г. в совместной французско-американской экспедиции на аппаратах «Наутилус» и «Альвин» на хорошо изученном излиянии Восточно-Тихоокеанского поднятия на 13° с. ш.⁴ Датчик температуры вводили внутрь трубок червей. У переднего конца трубок температура составляла 20—45 °С, в 2—3 см глубже — от 40—50 °С (четыре измерения) до 70—80 °С (два измерения). Но самую удивительную вещь увидели наблюдатели, когда один испуганный аппаратом помпейский червь выскочил из своей трубки и несколько минут крутился вокруг температурного датчика «Альвина», показывавшего в тот мо-

© Несис К. Н. Черви, которые любят жить на горячей сковородке.
¹ Несис К. Н. Бактерии живут в кипятке // Природа. 1982. № 2. С. 116—117; Daniel R. M. // Origins of life. 1992. V. 22. N 1—4. P. 33—42.

² Лобье Л. Оазисы на дне океана / Пер. с фр. М., 1990.

³ Desbruyères D., Laubier L. // *Ophelia* (Denmark). 1991. Suppl. V. 5. P. 31—45.

⁴ Chevaldonné P., Desbruyères D., Childress J. J. // *Nature*. 1992. V. 359. P. 593—594.



Серный червь *Paralvinella sulfincola* с короткими дорсальными папиллами.

мент 105 °С! Покрутившись и попозирав перед объективом видеокамеры, червь успокоился, как ни в чем не бывало вернулся на «каминную трубу» и спрятался среди трубок. Это обычное поведение альвинеллид: так, вылезая из трубки и некоторое время плавая поблизости, они спасаются от хищных крабов.

Конечно, 105 °С — температура, необычно высокая даже для альвинеллы. Судя по биологическим наблюдениям и физиолого-биохимическим данным, нормальная для альвинелл температура не превышает 40—50 °С. Но этого достаточно,

чтобы считать помпейских червей самыми теплолюбивыми и тепловыносливыми беспозвоночными Мирового океана.

Весьма теплолюбивы и паральвинеллы (*Paralvinella*, второй род того же семейства). Они помельче (от 2—3 до 7—8 см), не строят трубок или сооружают лишь слизистые оболочки и обходятся без симбионтов-бактерий, а питаются свободноживущими бактериями, детритом и растворенной органикой. Недавно описанный Дебрюйером и Лобье⁵ «серный червь» (вид *P. sulfincola*) обитает в северо-восточной части Тихого океана на гидротермальных излияниях хребтов Хуан-де-Фука, Горда и Эксплорер в компании с тремя другими видами того же рода и встречается на излияниях с температурой 301—323 °С. «Серные черви» живут на поверхности свежесложившихся сульфидных руд, где часто являются единственными макроскопическими животными. Слизистые чехлы червей иногда сплошным беловатым покровом одевают поверхность курильщика. По мере того как остроугольное гидротермальное сооружение растет, черви переползают повыше, ближе к источнику горячей воды, и так двигаются со скоростью 1—2 см/сут — именно с такой скоростью растет курильщик. Черви всегда ориентированы головой к источнику горячей воды, и иногда между ними остается пространство не более 2 см. Возможно, так лучше для хемосинтезирующих бактерий, поселяющихся на слизистом чехле. К тому же чехол защищает червя от оседающих частиц серы, тяжелых металлов и сульфидов. Время от времени червь сбрасывает чехол с налипшим на него ядовитым покровом. Он может, конечно, избавиться от вредных веществ и с помощью ферментов, но «сбрасывать грязную одежду» проще и быстрее.

Альвинеллиды выносливы по отношению не только к жа-

ре, сере и тяжелым металлам, но и к радиации. Изливающаяся из гидротермальных источников горячая вода обогащена природным радонном ²²²Rn. Это изотоп короткоживущий (период полураспада 3,8 сут), но среди продуктов его превращения есть и более долгоживущие: ²¹⁰Pb и ²¹⁰Po с периодом полураспада соответственно 22,3 года и 138,4 сут. Материалы, собранные в 1987 и 1990 гг. «Наутилусом» и «Альвином» на Восточно-Тихоокеанском поднятии на 13° с. ш., показали, что концентрация ²¹⁰Pb и ²¹⁰Po в телах *Paralvinella grasslei* (они живут там же, где *A. pompejana*) достигает соответственно 905 и 1140 распадов в минуту на 1 г сухого веса. По полонию это на порядок, а по свинцу на три порядка выше содержания этих изотопов в мелководных многощетинковых червях из обычных местообитаний⁶. Расчет показал, что самый мощный излучатель — α-активный изотоп ²¹⁰Po, и паральвинеллы получают от него дозу на два-три порядка больше той, которую в среднем за год получают люди от всех источников облучения. Если за среднюю концентрацию ²¹⁰Po принять 100 распадов в минуту, то доза для всего организма червя составит 2 Зв/год, или 200 бэр/год. Учитывая гигантскую биомассу альвинеллид в зонах горячих излияний, невольно приходишь к выводу: что червь здорово, то человеку смерть.

⁶ Cherry R., Desbruyeres D., Heyraud M., Nolan C. // *Compte Rend. Acad. Sci. Paris*. 1992. Ser. 3. V. 315. P. 21—26.

⁵ Tunnicliffe V., Desbruyeres D., Jollivet D., Laubier L. // *Canadian J. Zool.* 1993. V. 71. N 2. P. 286—297.

Недавнее прошлое громадной науки в громадной стране

Л. Р. Грэхэм

Массачусетский технологический институт
Гарвардский университет
Кембридж

Вниманию читателей предлагается исторический очерк Лорена Р. Грэхэма (Loren R. Graham), ведущего американского специалиста по русской и советской науке, автора обширных исследований в этой области и консультанта ряда американских фондов, оказывающих содействие российско-американским научным связям. Широкому кругу ученых может быть известна его книга «Естествознание, философия и наука о человеческом поведении в Советском Союзе» [М., 1991], а также другие монографии и статьи. В нашей стране и США проходит серия организованных Л. Грэхэмом конференций «Наука и техника с человеческим лицом».

Все сказанное об авторе, надеемся, настроит на внимательное и доброжелательное отношение к тексту. Поскольку статья была адресована англоязычному читателю (это несколько сокращенный перевод из журнала «Osiris», 1992, N 7), мы порой встречаемся в ней с фактами и обстоятельствами, слишком хорошо нам известными. Однако взгляд со стороны на нашу историю и повседневность может принести пользу. Мы все еще на распутье. Заслуживает особого внимания заключительный вывод Л. Грэхэма, предостерегающего от буквального копирования зарубежных способов организации науки, даже таких, которые, казалось бы, прошли испытание временем.

СРЕДИ ГЛАВНЫХ особенностей организации науки в бывшем Советском Союзе иностранному наблюдателю бросаются в глаза ее масштабы и высокая степень централизации управления¹. Советская наука и советские научные учреждения были не только самыми крупными в мире, но — в отличие от науки в других странах — основывались на совершенно иных организационных принципах в силу необычного соотношения ролей Академии наук, университетов и промысленных исследовательских центров. Более того, будучи крупнее, чем где бы то ни было в мире, советские научные и технические центры находились под контролем очень незначительного числа влиятельных лиц.

Как советская наука стала такой громадной и монополизированной? Эффективно ли функционировала необычная организационная структура? Если же советская научная машина работала недостаточно эффек-

тивно (на чем я буду настаивать далее), то как восприняли ее изъяны научные боссы нового поколения и как они хотят ее реформировать?

МАШТАБЫ

В начале 1991 г. в Советском Союзе общее число людей, занимающихся наукой и преподаванием в высших учебных заведениях, официально насчитывало 1,52 млн. человек². В силу определенных причин это число невозможно напрямую сравнить с аналогичными статистическими данными в других странах, но мнение западных специалистов сводится к тому, что если в качестве критериев для сравнения взять сферу деятельности и ученую степень, то в начале 1980-х годов число ученых и инженеров в Советском Союзе было на 10—30 % больше, чем в США³.

Советские ученые организационно были распределены по трем пирамидам, которые для удобства можно назвать университетской системой (600 тыс. научных работ-

© Грэхэм Л. Р. Недавнее прошлое громадной науки в громадной стране.

¹ В этой статье речь пойдет о советской науке до начала 1991 г., т. е. до того момента, когда была низвергнута коммунистическая идеология и произошел распад Советского Союза. Однако исторический фон все еще влияет на продолжающиеся споры о будущем науки как в России, так и в других государствах.

² См.: Пискунов Д. И. Советская фундаментальная наука: организация, проблемы и перспективы развития. М., 1991. С. 2.

³ Nolting L., Feshbach M. R. and D. Employment in the USSR // Science. 1980. N 207. P. 493—503

ников, включая преподавателей; 7 % ассигнований госбюджета), академической системой (соответственно 125 тыс. и 6,5 %) и системой отраслевой и оборонной промышленности (800 тыс. и 87 %).

Из трех представленных пирамид более всего соответствует организации американской науки университетская система, которая и в США по большей части находится на государственном обеспечении. Однако внешнее сходство не должно вводить нас в заблуждение. Университеты США — это центры фундаментальных исследований. В Советском Союзе университеты традиционно играли узкообразовательную роль, и проводимые там исследования часто носили второстепенный характер.

Менее всего в рамках американского опыта понятна система, возглавлявшаяся Академией наук СССР. Под эгидой советской Академии осуществлялась большая часть советских фундаментальных исследований. В Соединенных Штатах Национальная академия наук и Национальная академия технических наук — прежде всего почетные организации; конечно, периодически они выпускают сборники докладов, но не располагают ни учреждениями, где бы проводились экспериментальные исследования, ни соответствующим штатом. Напротив, советская Академия наук служила местом работы для самых крупных в стране ученых, занимающихся фундаментальными исследованиями. Вся жизнь этих ученых была связана с Академией, с тем или иным ее территориальным подразделением. Академия давала им традиционные привилегии, касающиеся поездок, проведения отпуска, лечения и социального обеспечения. Неудивительно, что Александр Вусинич назвал Академию «империей знаний»⁴.

В системе отраслевых министерств и оборонной промышленности, образующей самую большую пирамиду, проводились преимущественно прикладные исследования. Нужно заметить, что и здесь подавляющее большинство исследователей, как и их коллеги из Академии наук, работали не в лабораториях заводов и предприятий, а в централизованных институтах, расположенных в больших городах. В период самого интенсивного роста советской системы науки (1960—1972 гг.) число таких институтов увеличилось с 4196 до 5307. После 1972 г. число институтов оставалось почти постоянным, но их штат продолжал пополняться.

По данным на 1991 г., каждый институт насчитывал в среднем по 270 научных сотрудников, но в некоторых из них исследовательский персонал достигал нескольких тысяч человек. Директора традиционно назначались «сверху» и обладали большими административными полномочиями.

Советская наука была «громадной» по нескольким показателям: по количеству научных работников, по степени централизации организационной структуры и по широте полномочий руководящего состава.

РОЛЬ ГОСУДАРСТВА

Большевики, пришедшие к власти в 1917 г., хотели построить государство с передовой индустрией и возлагали большие надежды на науку и технику. Действительно, в предшествующей истории ни одно правительство ни в одной стране не ставило в своей программе науку и технику на такое видное место. Наиболее радикально настроенные революционеры с подозрением относились к дореволюционным ученым и инженерам, считая их частью презираемой ими буржуазии (позиция, поощряемая Сталиным, и впоследствии доведенная до крайности). Однако Ленин в первые годы советской власти оказывал сильную поддержку техническим специалистам, и коммунистическая партия сначала сулила науке покровительство в беспрецедентных масштабах.

Целью советского правительства было создать уникальную, советскую систему науки и производства, с новыми, «советскими» учеными и инженерами и новыми формами исследовательских учреждений, которые должны были заменить учреждения, унаследованные от старого режима. Несмотря на огромную сложность задачи, ее в целом удалось осуществить. Страна со второстепенной наукой превратилась в крупнейший научный центр. К 1960 г. русские во многих областях имели более мощный научный потенциал, чем Франция или Германия, — впечатляющее изменение по сравнению с тем, что было на полстолетия раньше.

Исключительная роль государства в развитии науки была унаследована Советской Россией от царских времен. Когда в начале XVIII в. Россия вошла в систему европейских государств, она не располагала значительными научными силами; забота о создании первых научных учреждений, начиная с основания Академии наук в 1725 г., легла на императорское правительство. В течение последующих двухсот лет роль государственного управления в науке оставалась

⁴ Vucinich A. *Empire of Knowledge: The Academy of Sciences of the USSR (1917—1970)*. Berkeley — Los Angeles, 1984.

первостепенной. Крупные ученые дореволюционной России получали свое жалование из казенных средств, и бюджеты их институтов также зависели от правительства.

В начале XX столетия, уже на закате империи, на фоне правительственной монополии в области управления и поддержки научных исследований стали появляться новые веяния, идущие от промышленников и отдельных филантропов⁵. На частные средства было основано несколько высших учебных заведений, таких, например, как Университет Шанявского и Высшие женские курсы. В числе дореволюционных благотворительных организаций следует отметить, например, Общество Леденцова, которое при свободном развитии смогло бы выполнить ту же роль, что и научные фонды, которые начали возникать в начале XX столетия в Западной Европе и Северной Америке. Московское общество научно-исследовательских институтов, организованное при поддержке деловых кругов групп биологов в 1914 г., должно было способствовать увеличению частных вложений в науку. Одним из первых начинаний этого Общества была организация Института экспериментальной биологии, возглавляемого Н. К. Кольцовым и после революции.

Вскоре после революции частные усилия, направленные на поддержание научных исследований, были прерваны. В 1917 г., несмотря на то, что царизм был низвергнут, традиции государственного контроля перешли к новому, советскому правительству и распространились на всю последующую советскую науку и технику.

Появившиеся непосредственно перед революцией неправительственные научные организации до недавних пор были известны лишь историкам — и только немногим из них⁶. В период перестройки Горбачева сторонники реформ в науке снова стали проявлять интерес к децентрализации и плюралистическим тенденциям в русской науке и технике до 1917 г. Многие сторонники реформ верят, что особая форма организации советской науки — историческая ошибка. Однако в 20-х годах организационная структура советской науки базировалась на особом видении социалистической эконо-

мики, которая, как казалось, превосходила западную капиталистическую экономику.

Большинство перспективных реформ в области науки, проведенных советским правительством в 20-х годах, было направлено на создание системы научных исследований, организационно опирающейся на научно-исследовательские институты. Конечно, сегодня такие институты есть во всех странах, и в 20-х годах существовало несколько таких институтов за пределами Советского Союза; так что можно усомниться в том, что советская идея НИИ была экстраординарной. Однако для западных ученых, прошедших некоторое время в Советском Союзе, становится очевидным, что термин «научно-исследовательский институт» имел в Советском Союзе — и до сих пор имеет в России — значение, несколько отличающееся от того, какое ему придают в западных странах. Почти все более или менее крупные ученые и инженеры в Советском Союзе были сотрудниками НИИ или работали в непосредственной связи с ними. Несколько тысяч исследовательских институтов в Советском Союзе находились под юрисдикцией отраслевых министерств. Наиболее престижные оказались в ведении Академии наук. В целом академическая система (включая республиканские академии) содержала — и содержит до сих пор — около 600 институтов. Некоторые улицы в Москве, Санкт-Петербурге, Новосибирске и Киеве с обеих сторон застроены институтами. Только в Москве, от Октябрьской площади до Московского университета и дальше, расположились дюжины НИИ. Похоже, что в этом географическом районе содержится такое количество институтов, какого на участке сравнимых размеров больше нигде в мире не найти.

Система исследовательских институтов была принята в 20-х годах как основная организационная форма для проведения научных исследований по нескольким причинам.

Во-первых, предполагалось, что это было опережением наметившихся на Западе тенденций, особенно германских — новые институты Общества кайзера Вильгельма послужили основной моделью для советской науки. Первый непрременный секретарь Академии наук С. Ф. Ольденбург⁷ утверждал в 1926 г., что «если восемнадцатый век был веком академий, девятнадцатый — ве-

⁵ Бастрасова М. С. Организационные тенденции русской науки в начале XX столетия // Организация научной деятельности. М., 1968. С. 150—186.

⁶ Александров Д. А., Кременцов Н. Д. Практическое руководство к Земле неведомой: предварительный обзор социальной истории советской науки с 1917 по 1950 г. // Всп. истории естествознания и техники. 1989. № 4. С. 667—680.

⁷ Ольденбург С. Ф. Впечатления о научной жизни в Германии, Франции и Англии // Научный работник. 1927. № 2. С. 89.

ком университетов, то двадцатый век становится веком исследовательских институтов».

Во-вторых, предпочитая проводить наиболее перспективные исследования в институтах, а не в университетах, советское правительство успешно решало важную политическую проблему. Почти все лучшие ученые Советского Союза 20-х годов получили образование еще до революции и были, по крайней мере в глазах лидеров коммунистической партии, подозрительны по части политической лояльности. Работая в исследовательских институтах, эти талантливые, но политически неблагонадежные ученые могли продолжать свои высококвалифицированные исследования без риска заразить студентов неортодоксальными политическими взглядами.

Система централизованных научно-исследовательских институтов, наряду с фундаментальной наукой, охватывала и прикладные исследования. Первые руководители советской промышленности полагали, что развитие западной технологии естественной конкуренцией капиталистических компаний, заставляющей скрывать результаты исследований от своих экономических соперников. Например, критикуя «расточительность» конкурентной экономики Соединенных Штатов, советские экономисты указывали, что разработкой технологии производства синтетических волокон там занимались одновременно лаборатории компании «Дау», «Дюпон», «Монсанто» и «Юнион карбид»; эти экономисты полагали, что один крупный научно-исследовательский институт синтетического волокна в большом городе мог бы обеспечить работу всей химической промышленности.

Стремление иметь крупные централизованные исследовательские институты в столицах городов, а не при заводах находилось в полном соответствии с общей марксистской тенденцией к централизованному планированию, которая была особенно сильной в первые десятилетия советской истории. Много лет спустя стало очевидно, что это стремление вредило советской отраслевой науке, порождая громадный бюрократический аппарат и разрывая научное исследование и производство. Еще в 20-х годах, когда система только начинала создаваться, некоторые советские руководители выражали беспокойство по поводу возможности такой перспективы. Например, в 1925 г. Ю. Л. Пятаков предложил организовывать исследовательские институты при промышленных предприятиях. С острой критикой этого предложения выступил один из большевистских лидеров Ф. Э. Дзержин-

ский⁸. Взгляды Дзержинского возобладали. К 1982 г. всего 3 % советских исследователей с кандидатской степенью (что сопоставимо с американской степенью доктора философии — Ph. D.) были сотрудниками промышленных предприятий⁹. (Для сравнения, в 1975 г. в Соединенных Штатах работа 23,7 % всех ученых и инженеров с докторской степенью была связана с бизнесом и промышленностью.)

Централизованное управление позволяло быстро находить ресурсы для достижения важных целей, таких как строительство гидроэлектростанций, создание атомного оружия или разработка космической программы, но оно оказалось значительно менее пригодным для нужд рыночной экономики. Централизованный подход к решению экономических проблем, благоприятный в годы формирования Советского Союза, создал глубокий разрыв между исследованием и производством, разделив географически, организационно и даже философски отраслевые научно-исследовательские институты и промышленные предприятия. Исследования, проводящиеся централизованно в больших городах, приобретали на местах репутацию малоинтересных. Как позже стали говорить советские экономисты, работники исследовательских институтов просто «выкидывали свои изобретения в форточку», считая, что ответственность за внедрение их идей лежит на руководителях промышленных предприятий. Директора заводов, обеспокоенные выполнением производственного плана, неохотно прерывали налаженное производство для внедрения новых идей, существующих только на бумаге. Это было огромной слабостью советской науки.

В последние годы в Советском Союзе, особенно после прихода к власти М. С. Горбачева в 1985 г., было написано удивительно большое количество статей, в которых обсуждались всевозможные организационные проблемы, ведущие свое начало от дебатов конца 20-х — начала 30-х годов. Так, теперь кажется парадоксальным, что почтенная организация, обязанная своим происхождением монархическому правительству и долго именовавшаяся Императорской Академией, должна была занять центральное место в науке революционного государства, придерживающегося пролетарских принци-

⁸ Научные достижения в промышленности и работа научно-технического отдела ВСНХ СССР. М., 1925. С. 41—42.

⁹ Жамин В. Интенсификация науки // Экономические науки. 1985. № 4. С. 34.

пов. Почему она не была упразднена воинственно настроенными революционерами, как Королевская академия наук во Франции во время Великой французской революции? Сторонники радикальных реформ в России были осведомлены о революционном прецеденте во Франции, и некоторые из них призывали разрушить Российскую академию.

Потребность в науке (и революционные правительства не являлись здесь исключением) значительно возросла со времен французской революции, а следовательно, увеличился и риск, связанный с вмешательством в перестройку социального института науки; В. И. Ленин, А. В. Луначарский и другие лидеры коммунистической партии, имеющие представление о науке и системе образования, вполне отдавали себе в этом отчет.

Кроме того, между французской и русской революциями были идеологические различия, что также имело некоторое отношение к науке. Лидеры революционной России полагали, что их страна должна стать централизованным государством, в котором экономика будет развиваться в соответствии с рационально разработанным планом, а не государством свободной торговли, о чем мечтали французские революционеры. Советские руководители ценили науку за ту помощь, которую она могла оказать в процессе экономического развития, и очень хотели иметь централизованную научную организацию, которую можно было бы легко связать с органами экономического планирования.

В 20-х годах существовало несколько претендентов на эту роль, и в их числе Коммунистическая академия, но ни одна из организаций не могла подняться до уровня старой Академии по качеству технических рекомендаций, даваемых правительству. Видные представители Академии наук, такие как А. П. Карпинский, С. Ф. Ольденбург, В. И. Вернадский и В. Н. Ипатьев, старались продемонстрировать полезность науки для нового режима. Они помогли создать программу всеобщей электрификации страны, участвовали в экспедициях по изысканию полезных ископаемых, изучали энергетические ресурсы и предоставляли технические рекомендации в области индустриализации и вооружений.

Академия наук подверглась атаке позже, в 1929 г., но это был поход марксистских схоластов против старой академической школы, а не оспаривание статуса Академии вообще. К середине 30-х годов советская наука и техника приобрели осново-

полагающие организационные начала, которые, несмотря на множество проводимых впоследствии реформ, оставались незабываемыми.

После второй мировой войны советская наука стала еще более склонна к гигантомании. В Новосибирске, Пушкине, Дубне, Обнинске и других местах были созданы «академгородки», где в непосредственной близости работали тысячи исследователей. Первое десятилетие своего существования эти научные центры функционировали довольно сносно, используя свою оторванность от политического влияния Москвы, но вскоре и они попали под бюрократический пресс.

НЕДОСТАТОЧНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Несмотря на большие усилия, предпринятые советским правительством для развития науки и техники, результаты оказались разочаровывающими. Независимо от того, какой критерий выбрать для сопоставления, достижения советских ученых, крупнейшего из мировых научных сообществ, не так велики. В области естественных наук (физика, химия, психология, медицина) с 1901 по 1990 г. граждане США получили 145 Нобелевских премий, а граждане СССР — 8. Во всех прочих областях (включая литературу, экономику и борьбу за мир) граждане США стали обладателями 217 Нобелевских премий, а граждане СССР — 23. По числу граждан, получивших эту награду, Советский Союз находится на шестом месте после Соединенных Штатов, Великобритании, Франции, Германии и Швейцарии.

Картина становится еще мрачнее, если посмотреть на сбыт технических лицензий. В последние годы США, при всех трудностях, вызываемых конкуренцией с Японией, ежегодно продавали примерно в 30 раз больше технических лицензий, чем Советский Союз. Похожая картина обнаруживается при рассмотрении почетного членства в престижных научных обществах. В 1986 г. в Лондонском королевском обществе состоялось 87 иностранных членов, среди которых 6 были гражданами Советского Союза и 44 — гражданами Соединенных Штатов. Не многим лучше ситуация была среди иностранных членов Национальной академии наук США, в которой в 1986 г. было 16 советских членов среди приблизительно 250 иностранных коллег.

Критерии, которые берутся для сравнения науки Советского Союза с наукой других стран, конечно, не бесспорны. Русский язык по-прежнему мало известен, и достижения советских исследователей часто оста-

вались незамеченными. Но вывод, что советская наука и техника не достигли тех глобальных целей, которые ставили перед ними первые советские организаторы, по всей видимости, оспаривать трудно.

Советская наука и техника имели, конечно, ряд выдающихся успехов. СССР был страной, которая впервые в мире построила атомную электростанцию, вывела искусственный спутник на околоземную орбиту, запустила человека в космос и предложила использовать для изучения термоядерного синтеза широко применяемую сегодня установку «Токамак». В некоторых областях математики и теоретической физики Советский Союз в течение десятилетий был признанным мировым лидером; советские ученые установили прочные исследовательские традиции в океанографии, сейсмологии, металлургии, магнитогидродинамике, химическом катализе и во многих других областях.

Многие из преимуществ и недостатков советской науки могут быть объяснены социальными условиями. Успех математики и теоретической физики (так называемой «blackboard science») можно, в частности, представить, как естественный результат того, что в атмосфере политических репрессий и строго контролируемой экономики талантливые ученые стремились к самоизоляции. Наоборот, слабость прикладных исследований и недостаток новаторства в этой сфере были, в свою очередь, порождены отсутствием конкуренции и экономической заинтересованности, а также оторванностью отраслевой науки от производства. Крупные технические достижения русских специалистов традиционно не находили поддержки ни дома, ни за рубежом.

Наряду с этим успехи советских ученых в «большой технологии», в таких областях, как атомные вооружения и космическая техника, обеспечивались именно высокой степенью централизации государственного контроля над ресурсами и людьми, что могли себе позволить только немногие правительства; эта возможность сосредоточивать все усилия на нескольких высокоприоритетных проектах использовалась советским правительством в областях, важных для обеспечения его безопасности.

Многие советские ученые осознавали, что в последние годы советская наука стала работать значительно хуже, чем 20 или 30 лет назад. Последним из советских лауреатов Нобелевской премии был П. Л. Капица, получивший ее в 1978 г. за работы, выполненные еще до второй мировой войны. Предпоследняя, в 1964 г., присуждена

Н. Г. Басову и А. М. Прохорову за создание лазеров. Космическая программа, долго поддерживавшая славу советской науки, закончила свое существование во время острого внутреннего кризиса, когда ее стали воспринимать как расточительную трату средств, которые должны идти на улучшение жизненных условий. Растущее отставание качества советских компьютеров по сравнению с зарубежными начало затрагивать такие области науки, как математика и теоретическая физика, где советские ученые долгое время работали очень успешно. Общий кризис советской экономики последних лет сделал крайне затруднительной задачу отыскивать средства для расширения исследовательского бюджета.

Эти отрицательные тенденции привели к тому, что советские ученые стали призывать к радикальным реформам в области организации и финансовой поддержки научных исследований.

ПОСЛЕДНИЕ РЕФОРМЫ

Наиболее широкие политические и экономические реформы Горбачева, такие как политика гласности, либерализация политического управления и децентрализация экономической деятельности, должны были перестроить советское общество и улучшить работу представителей творческих профессий. Возвращение знаменитого физика-диссидента А. Д. Сахарова из Горького было ярким доказательством, что гласность распространилась и на сферу науки. Заводские рабочие были допущены к участию в выборах директоров своих заводов. Была децентрализована и экономическая деятельность, включая установление цен, с целью поощрить конкуренцию. Бывший президент Академии наук Г. И. Марчук отмечал, что одним из эффектов этих экономических реформ было обретение обратной связи между промышленностью и научным исследованием. Признание необходимости такой обратной связи уже включает в себе кристику централизованного планирования.

Частные инициативы. Отдельные реформы, не ставившие своей целью совершенствование науки и техники, отзывались и в этих областях. Здесь уместно назвать, например, Закон об индивидуальной трудовой деятельности, вступивший в силу в мае 1987 г., и Закон о кооперации, принятый в мае 1988 г. Этими законами частным лицам было разрешено, под надзором системы регистрации и контроля, участвовать в небольших прибыльных предприятиях и создавать индивидуальное производство на до-

му. Большинство этих «кооперативов» не имело ничего общего с наукой и техникой; это были маленькие рестораны, ремонтные мастерские, службы такси и ателье. Однако вскоре кооперативы стали использовать ученые и инженеры. Они начали оказывать высококвалифицированные технические услуги местным промышленным предприятиям, устраивать научные выставки, создавать центры по новейшему программному обеспечению и т. п.

Впечатляющее начало деятельности новых научных и технических кооперативов было стеснено официальными предписаниями и общественным негодованием. Кооперативы были организациями, в которых сотрудникам можно было работать по совместительству, а в течение рабочего дня находиться на прежней работе. Часто кооперативы возникали при научно-исследовательских институтах, используя их оборудование в вечернее время и в выходные дни. Между администрацией и предпринимателями действительно возникало много разногласий по поводу разделения ресурсов и компенсации. В некоторых случаях кооперативы работали так успешно, что начали подавлять материнские институты; в других случаях государственные организации стремились поглотить кооперативы. Некоторые бюрократы пытались раздавить кооперативы множеством предписаний и используя карательное налогообложение, другие занимались просто вымогательством. Рэкетеры требовали от кооперативов платы за сохранение их безопасности. Простые граждане, годами впитывавшие доктрину социалистического эгалитаризма, часто возмущались богатством предпринимателей и направляли письма в газеты с просьбами закрыть кооперативы. Таким образом, к началу 90-х годов ситуация с научными и техническими кооперативами была неоднозначной. Все же создается общее впечатление, что они очень нужны и что они будут расти, если их не задушат резкие перепады официальной политики.

Новые государственные учреждения. В то время как в советской науке возникали частные инициативные группы, советские администраторы продолжали искать более эффективную модель стимулирования научных исследований. Большинство предложений имело две цели: низвергнуть жесткую централизацию старой системы и устранить разрыв между академическими исследованиями и промышленным производством. В середине 80-х годов новой организационной формой стали межотраслевые научно-технические комплексы (МНТК). Эти конгломераты сочетали в себе как исследователь-

ские, так и производственные качества и обычно находились под руководством институтов Академии наук, а не производственных министерств. Обескураженный нежеланием производственных министерств вводить новшества на своих предприятиях, М. С. Горбачев обратился к Академии наук, работников которой он считал более осведомленными в современной технике и методах управления.

За несколько лет было создано более дюжины новых МНТК. Они представляли собой комплексы, работающие в области биотехнологии, машиностроения, компьютерной технологии, автоматизации производства, волоконной оптики, химического катализа, лазеров, сварки, автоматизации и нефтехимии. Все они получили краткие названия по тематике работ: «Робот», «Катализатор», «Биоген», «ПЭВМ» (персональные компьютеры) и т. д.

К 90-м годам движение за основание МНТК замедлилось. Стало ясно, что частные инициативы научных и технических кооперативов отвлекают творческую энергию таких официальных учреждений, как академические институты. Промышленные министерства продолжали сопротивляться вторжению Академии наук в их прерогативы и ухитрились воспрепятствовать движению за основание и развитие МНТК, установив над ним полный контроль. Кроме того, радикально настроенные критики начали нападать на саму Академию, рассматривая МНТК как способ еще большей централизации исследовательской работы. Таким образом, критикуемое как справа (бюрократами централизованных промышленных министерств), так и слева (реформаторами, которые хотели видеть научную организацию такой, как в западных странах, и поэтому оспаривали необходимость существования академических институтов) движение за основание МНТК с его идеей исследовательских комплексов, возглавляемых академическими институтами, ослабило свои позиции.

Академия наук. Под руководством Гурья Марчука, избранного президентом Академии наук в октябре 1986 г., президиум Академии осуществил несколько реформ, которые порой вводились под давлением со стороны правительства или молодых ученых. Изменения были направлены на то, чтобы более решительно привлечь внимание Академии к наиболее важным исследовательским проблемам (особенно в области практических применений); перевооружить академические институты более современными приборами и компьютерами; оживить

отделения Академии; демократизировать систему выборов ведущих должностных лиц; ослабить контроль над поездками за границу и над доступом к иностранным публикациям; наконец, принудить выйти на пенсию наиболее старых должностных лиц.

Весной 1989 г. состоялось беспрецедентное выступление против высшей администрации Академии. Поводом для протеста послужил отказ президиума Академии признать результаты голосования работников академической системы по выдвижению в новое советское законодательное учреждение нескольких ученых, среди которых был и Андрей Сахаров. Несколько тысяч работников академической системы собрались перед зданием президиума в Москве и опротестовали это решение, размахивая плакатами, требуя отставки президента Марчука и членов президиума и настаивая на демократических реформах в академической структуре. В результате президиум не выдержал натиска и согласился ввести Сахарова в новый законодательный орган. Президиум согласился также на выборы директоров академических институтов.

Несмотря на эти реформы, многие интеллигенты в Советском Союзе времен Горбачева все больше смотрели на Академию как на организацию крайне консервативного бюрократизма. Прямым результатом протеста 1989 г. было учреждение Союза ученых — неформальной организации, которая призывала к проведению реформ в науке и системе образования и требовала защиты прав трудящихся. Члены Союза организовали собственную газету и часто критиковали Академию.

Некоторые критики, как, например, М. Д. Франк-Каменецкий, высказывали справедливую мысль, что Академия, управляющая таким количеством талантливых ученых, является пережитком сталинизма и сталинской командно-административной системы. А не было бы лучше, спрашивали эти критики, если бы Академия стала только престижным клубом, как Королевское общество в Англии и Национальная академия наук в США?

Будущее Академии наук СССР было неясно также из-за дебатов, вспыхнувших на национальной почве. Многие ученые, как в России, так и в других республиках, призывали к разделу «большой» Академии наук СССР между республиками. Значение этого предложения было крайне важно для России: только она — единственная из союзных республик — не имела собственной академии, хотя большинство крупных академических институтов находилось на ее тер-

ритории. Создание Российской академии наук могло угрожать «большой» Академии, так как новая Российская академия наверняка стала бы претендовать на то, чтобы к ней перешли институты и другое имущество старой Академии. Одни ученые предлагали просто переименовать «большую» Академию в Российскую; другие предлагали сделать Сибирское отделение центром новой Российской академии, может быть, выделив ей еще часть лучших московских институтов.

Кончина Академии наук СССР была predetermined, во-первых, ее отношением к попытке государственного переворота в августе 1991 г. и, во-вторых, распадом Советского Союза в конце этого же года. В течение нескольких дней, когда казалось, что переворот мог быть успешным, лидеры Академии молчали, давая повод считать, что они способны легко ужиться с новыми политическими лидерами правого крыла. Такое поведение укрепило подозрения критиков старой Академии, которые продолжали связывать ее с правлением коммунистической партии. Еще более важным фактором, конечно, стал распад самого Советского Союза в конце 1991 г.

Еще до распада Советского Союза российские ученые стали объединяться в свою собственную академию, чем бросили вызов авторитету старой Академии. Многие члены новой Российской академии наук были из провинции и считали, что старая Академия — это закрытая элитарная организация столичных городов. В конце 1991 г. нашлось решение дилеммы двух конкурирующих академий, борющихся за влияние среди российских ученых. Объединением приблизительно 250 членов старой Академии с 39 членами новой академии был создан гибрид двух противоборствующих организаций. Получившееся в результате учреждение было названо Российской академией наук, которая стала наследницей почти всех институтов и полномочий старой Академии. Ее новым президентом был избран специалист в области прикладной математики Юрий Осипов, советник по науке президента Бориса Ельцина.

С течением времени новая Российская академия наук начала все больше походить на старую, «большую» Академию. Реформаторы и радикалы, призывавшие к коренной перестройке российской науки, с переносом фундаментальных исследований из академической в университетскую систему, потерпели поражение. Конечно, прошло еще слишком мало времени.

Новое в финансировании. Традиционным для Советского Союза методом финан-

сирования научных исследований было выделение больших субсидий крупным институтам. С каждым годом их бюджет обычно немного увеличивался, и эта сумма распределялась среди различных отделов института. Такой метод финансирования давал большую власть директорам. Исследователи, работавшие в институте, не могли обращаться к другим учреждениям с просьбой выделить им средства.

Еще до того, как Горбачев пришел к власти, такая система не была абсолютно жесткой. Наряду с центральным финансированием между институтами и другими гражданскими и военными государственными учреждениями заключались контракты на выполнение прямых заказов. В системе Академии наук СССР сумма таких заказов обычно не превышала 25 % общего бюджета институтов; целью такой политики было стремление не впутывать Академию в прикладную науку и сохранить за ней приоритет в области проведения фундаментальных исследований. Такая политика обычно не распространялась на институты и университеты, не входящие в академическую систему; некоторые из этих институтов попадали в полную зависимость от заключенных промышленных и военных контрактов.

Одна из реформ в эпоху правления Горбачева была началом движения к системе финансирования, похожей на систему финансирования Национального научного фонда в Соединенных Штатах. Было основано несколько центральных фондовых учреждений, и ведущие исследователи получили возможность на равных правах подавать на рассмотрение свои предложения. Эта реформа безусловно повысила авторитет отдельных исследователей и ослабила полномочия директоров институтов.

Другим выдающимся элементом политики в области научных исследований последних лет стало самофинансирование, или хозрасчет. Идея заключалась в том, чтобы каждый институт мог окупать себя, используя средства от получаемых заказов, государственного бюджета и контрактов с промышленными предприятиями. Самофинансирование имело целью сделать ученых как можно более ответственными за сбыт промышленной продукции, а также за исполнение приоритетных правительственных заданий, получаемых от центральных учреждений.

Очевидно, что метод самофинансирования пригоден для одних направлений и гораздо меньше — для других. Институты, работающие в непосредственном контакте с промышленными предприятиями,

например те, которые занимаются разработкой компьютерных технологий и автоматизацией производства, могут существовать полностью на средства хозрасчета. Другие же, специализирующиеся в таких областях, как математика, теоретическая физика, астрономия, гуманитарные науки, могут не найти удобного случая заключить прибыльные для себя контракты. Сейчас предпринимаются попытки решить эти проблемы и найти способы финансирования подобных учреждений. Если проекты таких реформ будут развиваться, результатом их будет большее сходство с западными методами финансирования науки и техники.

С распадом Советского Союза и наступившим одновременно финансовым кризисом русская наука оказалась в очень тяжелой ситуации. Инфляция жестоко обесценивает оклады научных сотрудников и бюджеты институтов. Многие ученые и инженеры из бывшего Советского Союза предприняли попытки эмигрировать.

Рудименты крупной централизации. Централизованные и технократические методы руководства были низвергнуты, однако Советский Союз часто сбивался на старые шаблоны. В 1990 г. Н. П. Лавров, бывший тогда председателем Государственного комитета СССР по науке и технике, объявил об основании в г. Троицке «технополиса» с участием американской фирмы. Троицк должен был превратиться в «город XXI века» с центром для проведения научных совещаний, отелем международного класса, застройками в американском стиле и развлекательными заведениями. Другой такой технополис планировалось создать в Зеленограде, в 45 км от Москвы. Примерами таких высокотехнических конгломератов являются компании «Силиконовой долины» в Калифорнии и «Дороги-128» неподалеку от Бостона.

Попытка советского правительства дублировать в своей стране учреждения, которые появились в Соединенных Штатах на основе частных инициатив (хотя, конечно, под влиянием правительственной политики), содержат примесь старого централизованного подхода, несмотря на уверения, что новые научные сообщества будут воспитывать предпринимательские отношения. Лавров признал сходство новой политики со старой, когда спустя некоторое время заявил: «Фактически мы основали технополисы по уже знакомому нам примеру. Когда мы делали крупные успехи в исследовании космоса и в атомной энергетике, мы создали целую серию технополисов недалеко от Москвы и в некоторых других районах».

Однако для исследования космоса и раннего этапа ядерной энергетике централизованное управление было значительно более подходящим, чем в таких быстро развивающихся областях, как компьютерная технология. И усилия, поддерживающие модель централизованного руководства, не внушают доверия в такой же степени, как отчеты советской бюрократии, замалчивавшей проблемы безопасности ядерной энергетике до тех пор, пока Чернобыль не разоблачил их перед всем миром.

ВЫВОДЫ

Эволюция организации науки в СССР за время советской истории поучительна и для других стран. Какие же уроки мы можем извлечь из советского опыта? Я получил два противоречивых вывода. 1. Советский Союз на примере своего драматического опыта по-

казал нам, что лучше и хуже для организации научных исследований. Централизованное планирование дискредитировало себя и в экономике, и в науке. Многообразие форм в организации, финансировании и методологии — существенная черта научного творчества. Нужда в политической свободе — не фраза, а реальность. 2. Не существует наилучшего пути организации исследований и промышленного развития. Соединенные Штаты отыскали совсем не лучший метод организации научных исследований, убедительнее всего это доказывают сегодняшние споры о японском и американском подходах ко введению новшеств в промышленность и производство.

Развитие этих выводов потребовало бы написания целой книги, а не статьи. Я излагаю их в надежде, что они способны вызвать обсуждение и дискуссию.

© Перевод с английского К. В. Иванова

КОРОТКО

О. Л. Колесников с сотрудниками (Челябинский медицинский институт) исследовали нейтрофилокины — новую группу веществ пептидной природы, участвующих в иммунных реакциях и секретируемых нейтрофильными лейкоцитами (основными клетками воспаления). Они вызывают усиление перекисного окисления липидов головного мозга и такие же изменения клеточного состава крови, как и при иммобилизационном стрессе (лишении животных подвижности), т. е. могут считаться индукторами стресса.

Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 1994. Т. 117. № 3. Р. 257—258.

В Институте хирургии им. А. В. Вишневского (Москва) разработан оригинальный метод лечения ожогов, не имеющий

аналогов в мировой практике. Он основан на создании трансплантатов из культуры клеток человеческих фибробластов (основных клеток соединительной ткани). Монослой таких клеток выращивают на синтетической мембране размером 30 см² и накладывают на ожоговую поверхность; через трое суток во время перевязки мембрану снимают, а на ране остается тонкая пленка из подсаженных фибробластов. Перевязка безболезненна, предохраняет от потери плазмы крови, а клеточная пленка служит барьером для бактерий. Полная эпителизация раны при ожогах III-а степени происходит в среднем за 10—14 дней. Метод эффективен и при более глубоких ожогах (III-б — IV степени) в сочетании с пересадкой кожи.

Врач. 1993. № 11. С. 27—28 (Россия).

В результате опроса почти 100 тыс. американцев, который был проведен Национальным он-

кологическим институтом США, выяснилось, что впервые за все время наблюдений число мужчин, бросивших курить (28 % всех респондентов в возрасте старше 20 лет), превысило число тех, кто еще не расстался с этой пагубной привычкой (27,4 %). Курящих женщин пока все еще больше, чем тех, кто решительно покончил с табаком, однако и это соотношение постепенно улучшается.

Директор Национального онкологического института С. Бродер (S. Broder) объясняет это успехом энергичной и широкой антитабачной кампании, развернутой в США в последние годы.

New Scientist. 1993. V. 140. N 1898. P. 12 (Великобритания).

Космические исследования

Поиск жизни во Вселенной продолжится

Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства вынуждено было резко сократить работы по проекту SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence — поиск внеземного разума) после того, как в конце 1993 г. конгресс США отказал ему в дальнейших ассигнованиях на эти цели. В частности, пришлось отказаться от последовательной съемки всего звездного неба, намеченной коллективом Лаборатории реактивного движения в Пасадене в целях обнаружения планет вне Солнечной системы.

Выход из создавшегося положения был найден путем создания независимого разума в Пасадене в целях обнаружения планет вне Солнечной системы. Выход из создавшегося положения был найден путем создания независимого разума в Пасадене в целях обнаружения планет вне Солнечной системы. Выход из создавшегося положения был найден путем создания независимого разума в Пасадене в целях обнаружения планет вне Солнечной системы.

Таким образом, проект SETI, по крайней мере в своей главной части, обрел новое дыхание.

Среди наиболее крупных спонсоров «Феникса» — известные предприниматели в области электроники Д. Пакард и У. Хьюлетт (D. Packard, W. Hewlett), основатель компании «Интел» Г. Мур (G. Moor), один из президентов видной фирмы-поставщика компьютерных программ «Майкрософт» П. Аллен (P. Allen) и, не в последнюю

очередь, А. Кларк (A. C. Clarke), автор знаменитой во всем мире научной фантастики. Значит, великий фантаст верит в возможность успеха.

New Scientist. 1994. V. 114. № 1910. P. 7 (Великобритания).

Космические исследования

На встрече с Эросом

Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства США (НАСА) объявило о намерении запустить в феврале 1996 г. автоматическую станцию к астероиду Эрос. В декабре 1998 г. этот аппарат, получивший наименование «NEAR» (Near Earth Asteroid Rendezvous — встреча с астероидом вблизи Земли), должен пройти всего в 24 км от Эроса. На борту аппарата устанавливаются приборы, позволяющие получать изображения объектов на поверхности малой планеты, имеющих диаметр всего 1 км.

Аппарат «NEAR» открывает новую серию спутников «Дискавери», отличающихся простой конструкции и достаточно низкой стоимостью изготовления. Первый аппарат этой серии будет построен за 29 мес. и обойдется всего в 150 млн. долл. Это станет возможным благодаря использованию оборудования, предназначенного для реализации программы «Звездные войны», которая теперь отменена.

Работы ведутся под руководством С. Криммгиса (S. Krimmigis), возглавляющего космический отдел Лаборатории прикладной физики при Университете им. Дж. Гопкинса в Лореле (штат Мэриленд, США).

New Scientist. 1993. V. 140. N 1905/1906. P. 7 (Великобритания).

Космические исследования. Организация науки

Безработные астронавты

Глава Управления по аэронавтике и космосу Германии В. Крёлль (W. Kröll) сообщил, что в обозримом будущем не предвидится немецкой космической программы, которая потребовала бы участия астронавтов. Штатная численность Германского космического центра, находящегося в Оберпфалфенхофене (земля Бавария), подвергается сокращению: к 1996 г. это ведомство потеряет 450 из 4700 своих сотрудников.

До настоящего времени пятеро немецких астронавтов (из них две женщины) тренировались для запланированного Европейским космическим агентством полета на космическом корабле многоразового использования «Гермес». Теперь этот полет отменен. Отложен до неизвестного времени и запуск немецкого корабля многоразового использования «Зэнгер» («Sänger»). Для безработных немецких астронавтов Крёлль обещал подыскать какое-либо занятие в своем ведомстве или же за границей.

New Scientist. 1993. V. 140. N 1902. P. 11 (Великобритания).

Астрономия

Астероиды «проскакивают» мимо

20 мая 1993 г. американский астроном Т. Герелс (T. Gehrels; Университет штата Аризона, Тусон) открыл неизвестное малое небесное тело поперечником всего в несколько метров. Этот астероид «проскочил» мимо нашей планеты совсем близ-

ко, по астрономическим масштабам, — всего в 150 тыс. км, т. е. на расстоянии, вдвое меньшем, чем от Земли до Луны. Ни одного подобного случая до сих пор не было зарегистрировано. Помимо этого, астероид оказался и самым тусклым из всех известных астрономам. Заметить его удалось через несколько часов после максимального сближения с Землей, когда он был уже в 700 тыс. км и быстро удалялся от нее. Вычисления показали, что астероид явился со стороны Солнца.

На чуть большем расстоянии от Земли — в момент минимума всего в 160 тыс. км — прошел 15 марта 1994 г. астероид 1994 ES1. Примерно за сутки до этого, когда астероид находился в 2,2 млн. км от земной орбиты, его «засекли» пять обсерваторий, расположенных в разных странах. Сведения о его движении немедленно поступали в Гарвардско-Смитсоновский астрофизический центр (Кембридж, штат Массачусетс), где известный специалист в области малых небесных тел Б. Марсден (B. Marsden) произвел необходимые вычисления и пришел к выводу, что прямой опасности он не представляет (у тех, кто осознает, чем может закончиться соударение нашей планеты с небесным телом диаметром хотя бы 10 м, несущимся со скоростью десятки километров в секунду, подобные события не могут не вызывать беспокойства).

Марсден тотчас же разослал коллегам в Австралии, Новой Зеландии и Японии призыв срочно организовать наблюдения, с тем чтобы промоделировать, что можно было бы предпринять, если бы аналогичный объект представлял реальную угрозу. Однако в Новой Зеландии небо было плотно затянуто облаками, а в Японии и Австралии подкачала плохо работающая связь; правда, одна из австралийских групп получила призыв Марсдена вовремя, но, забыв внести поправку на параллакс, направила телескоп на полградуса в сторону от цели. И только 9-метровый телескоп Китт-Пикской обсерватории (штат Аризона, США) получил восемь изображений промчавшего мимо астероида.

Остается надеяться, что и в следующий раз нам повезет с орбитой нового астероида и он не попадет в Землю.

New Scientist. 1993. V. 138. N 1879. P. 11; 1994. V. 141. N 1918. P. 6 (Великобритания).

Планетология

Почему Луна яркая!

В полнолуние свечение нашего естественного спутника быстро и очень резко возрастает по сравнению с другими фазами. Астрономы в течение более чем 100 лет объясняли это тем, что песчинки лунного грунта поразному отражают солнечный свет.

Дело в том, что для земного наблюдателя луч Солнца поступает на поверхность неполной Луны под некоторым углом. В результате, согласно принятой гипотезе, пылинки отбрасывают на соседние с ними частицы густую тень, что и приводит к общему потускнению лика Луны. Когда же в полнолуние солнечные лучи падают на ее поверхность перпендикулярно, тени исчезают и ночное светило загорается в полную силу.

Однако теперь американские астрономы Б. У. Халпке (B. W. Halpe; Питтсбургский университет, штат Пенсильвания), Р. М. Нельсон и У. Д. Смит (R. M. Nelson, W. D. Smyth; Лаборатория реактивного движения в Пасадене, штат Калифорния) пришли к иному заключению. В лабораторных условиях они имитировали солнечный свет лазерным лучом, направляя его на образцы подлинного лунного грунта. Выяснилось, что увеличение светимости вызывается когерентным рассеянием.

В этом явлении ключевую роль играют еще более мелкие частицы, подобные частицам сажи. На лунной поверхности они обычно прилипают к более крупным песчинкам, и когда Луна вступает в полную фазу, они отражают свет преимущественно в обратном направлении, что и приводит к описанному эффекту.

То же когерентное рас-

свечение может объяснить и непонятную до сих пор яркость свечения некоторых спутников других планет Солнечной системы. Если это предположение верно, придется пересмотреть представление о строении поверхности ряда «лун», сделанное на основании их отражающей способности. Например, может оказаться, что поверхность спутника Юпитера Европы состоит из значительно более рыхлого слоя льда, чем полагали до сих пор.

Science. 1993. V. 260. N 5107. P. 509 (США).

Физика атмосферы

Акустический «термометр» для атмосферы

В лабораториях Национального управления по изучению океана и атмосферы США (НОАА, Боулдер, штат Колорадо) разработана принципиально новая радиолокационно-акустическая система измерения температуры воздушного пространства. Она основана на доплеровском эффекте, позволяющем судить о скорости и направлении ветров.

Посланный вверх радиосигнал отражается от направленного туда же мощного акустического сигнала; отражаясь от звуковых волн, радиосигнал позволяет судить о скорости звука на высотах вплоть до 2,5 км над подстилающей поверхностью. Так как с повышением температуры воздушной среды скорость звука возрастает, это дает возможность определять температуру нижней тропосферы.

Такая техника позволяет проводить измерения через каждые 6 мин, тогда как обычные метеорологические шары-зонды запускаются лишь дважды в сутки.

У новой системы есть существенный недостаток: для получения радиолокационного отражения в большинстве случаев необходимо, чтобы мощный репродуктор работал на частотах, воспринимаемых человеческим ухом, но подобный рев сирены слышен на расстоянии нескольких километров, что

исключает возможность ее применения вблизи населенных пунктов и ферм, особенно в ночное время.

Пока система развернута лишь в пяти из 31 пункта США, где есть метеорологический радар для составления профиля ветров; круглосуточно пока работают только два из них. Здесь ведутся эксперименты, испытывается оборудование, проверяется надежность получаемых с его помощью данных, чтобы впоследствии использовать их в прогнозе погодных условий.

Science News. 1993. V. 144. N 3. P. 44 (США).

Физика

Поиск сверхтяжелого водорода в морской воде

Поиск на Земле сверхтяжелых изотопов водорода ученые ведут с 1982 г.: предполагается, что такой водород мог образоваться на раннем этапе эволюции Вселенной и с течением времени накапливаться в морской воде на больших глубинах. Обнаружение сверхтяжелых изотопов водорода на Земле в значительном количестве позволило бы объяснить природу скрытой массы во Вселенной.

Японские исследователи Т. Yamagata, Y. Takatori, H. Utsunomiya (Университет Конан, Кобе) изучали образцы морской воды, взятые с глубины 4000 м во внутреннем Японском море. Для этих целей они использовали технику ускорительной масс-спектрометрии, включающую времяпролетный спектрометр, энергетическое разрешение которого составляет 75 кэВ. В результате ими установлен новый верхний предел для относительной концентрации тяжелых частиц водорода в области масс 5—1600 а. е. м. Этот предел при 95 % достоверности оказался равным $4 \cdot 10^{-17}$.

Несколько ранее анализ воды на присутствие тяжелых изотопов водорода с массами 10^4 — 10^8 массы протона проводили французские исследователи¹ методом центрифугирования. Установленный ими верхний

предел на существование изотопов сверхтяжелого водорода составил $6 \cdot 10^{-15}$.

Таким образом, полученные верхние пределы концентрации сверхтяжелого водорода практически не оставляют возможности объяснить его наличием скрытую массу в гало галактик.

Physical Review D. 1993. V. 47. N 3. P. 1231 (США).

Биология

Имеет ли лидер больше детей?

Среди этологов (специалистов, изучающих поведение животных) прочно установилось мнение, что самец имеет тем больше потомства, чем выше его иерархическое положение в популяции.

Это убеждение, по крайней мере в отношении одного из видов рыб, ставят под сомнение работы группы специалистов во главе с М. Шартлем (M. Scharll; Институт биологических наук им. Т. Бовери, Вюрцбург, Германия), которые изучили поведение рыбок *Limia regalis*, близкородственных широко распространенным у нас аквариумным гуппи. Самки лимии достигают в длину примерно 40 мм, самцы — от 20 до 60 мм. Чем крупнее самец и ярче его окраска, тем важнее его роль в группе.

Во всех прежних экспериментах исследователи для определения отцовства полагались только на характерные наследуемые внешние признаки. Поэтому наблюдения велись над малочисленными группами, состоящими всего из двух самцов и одной-двух самок. Ныне Шартль с коллегами впервые произвели точную идентификацию наследственных признаков родителей и потомства путем анализа их ДНК. Это позволяет, сопоставляя ДНК возможных отцов, устанавливать подлинные «родительские права» каждого из них.

¹ Physical Review Letters. 1992. V. 68. N 9. P. 1116; Сверхтяжелый водород в морской воде // Природа. 1992. № 11. С. 111.

Авторы изучили потомство нескольких групп рыбок данного вида, каждая из которых состояла из четырех самцов и четырех самок, что достаточно объективно воспроизводило их социальную структуру в естественной среде обитания.

Как и ожидалось, крупнейшей среди самцов занимал доминирующее положение в группе и большую часть времени тратил на брачную «демонстрацию себя» и на то, чтобы отгонять соперников.

Однако, когда определили родственную принадлежность всей молодежи, оказалось, что у доминантного самца в действительности почти нет потомства: от 65 до 100 % мальков составляли потомство самца, занимавшего в иерархии второе место. Итак, пока лидер был занят «ухаживанием» и «сражениями», следующий за ним по размерам и яркости окраски самец успевал стать фактическим отцом семейств.

В какой мере это можно отнести к другим видам животных — пока не ясно.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 1993. V. 90. P. 7064; New Scientist. 1993. V. 140. N 1990. P. 16 (Великобритания).

Биология

Регенерация у голотурий

Регенерация — способность организма или органа восстанавливать свою утраченную часть — всем хорошо известна с детства, например, по отращиванию хвоста у ящерицы. В сущности, это одна из защитных реакций организма на повреждающее действие окружающей среды. Так, в неблагоприятных условиях среды или при нападении врага иглокожие часто отбрасывают разные части тела: морские лилии и морские звезды — свои лучи, а голотурии извергают внутренности (висцерация) или даже распадаются на части. Выброс внутренностей у трепанга происходит через разрыв задней части тела, при этом удаляются кишка и водные легкие; эвпентакта выбрасы-

вает кишку с нервным кольцом и щупальцами глотки через передний конец тела; кукумария вообще не способна к естественной эквисцерации.

И. Ю. Долматов (Институт биологии моря Дальневосточного отделения РАН, Владивосток) удалял разные части тела и исследовал способности к их регенерации у трех видов голотурий (тип иглокожих), обитающих в заливе Петра Великого Японского моря: дальневосточного трепанга (*Stichopus japonicus*), японской кукумарии, или японского морского огурца (*Cucumaria japonica*), и эвпентакты (*Eupentacta fraudatrix*).

Как у личинки, так и у взрослых особей быстро и полно отрастали ампутированные амбулакральные ножки (тонкие цилиндрические растяжимые трубочки водоносной системы животного, которые с брюшной стороны имеют присоски и служат для передвижения, а на спинной стороне присосок не имеют и выполняют функцию осезания). Так же успешно заживали кожные раны у всех трех видов.

Однако будучи разрезаны надвое, ни личинки кукумарии и трепанга, ни взрослые особи не восстанавливали своего тела, между тем взрослые, но молодые трепанги достраивали целый организм из каждой половинки.

При разрезании молодой эвпентакты поперек целая голотурия вырастает только из передней половинки, а задние половинки, хотя и живут долго, но не формируют переднюю часть тела и в конце концов погибают. Интересно, что годовалые голотурии могут образовывать все тело уже из обоих фрагментов. С возрастом эти животные постепенно утрачивают способность переднего конца тела восстанавливать весь организм (голова взрослой эвпентакты живет только пять-шесть дней), но регенерационные возможности задних частей тела сохраняются: через 20—30 дней из хвоста образуется полноценная голотурия.

Оказалось, что как у молодых, так и у взрослых трепангов и эвпентакт быстро и полно образуются вновь утраченные внутренности; у кукумарии же после искусственного удаления

кишечника регенерации не происходило и животные погибли.

По мнению автора, регенерационные способности голотурии связаны не столько с возрастом животных, сколько с генетическими особенностями вида.

Онтогенез. 1994. Т. 25. № 1. С. 31—37 (Россия).

Молекулярная биология

Пептидный «мотив», узнающий А—Т-фрагменты в ДНК

Как белки узнают нуклеиновые кислоты и как нуклеиновые кислоты узнают белки? На эти вопросы до сих пор нет однозначного ответа. Чтобы подойти к их решению, в 1989 г. Э. Уинтер и А. Варшавский¹ выделили из дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae*) ген DAT-1, кодирующий белок датин, и сам этот белок, который избирательно взаимодействует с особыми участками молекулы ДНК, где последовательность пар оснований — аденина и тимина — многократно повторяется. Такие зоны, обогащенные А—Т-парами, часто встречаются в ДНК дрожжей и имеют необычные физические свойства: они участвуют в скручивании спирали ДНК; температура их плавления на 10 °С выше, чем у соседних последовательностей; имеют, по данным рентгеноструктурного анализа узкую малую бороздку спирали, высокую степень спирализации и особые водородные связи. В дрожжах именно А—Т-последовательности являются промоторами транскрипции, т. е. сигнальными элементами ее начала, причем эта их функция, вероятно, связана с локальными изменениями в структуре хроматина.

Один из подходов к пониманию функций и необычных свойств А—Т-зон заключается в изучении белков, взаимодействующих с ними.

Недавно Э. Уинтер, Б. Рирдон, С. Уинтерс и Д. Гордон (E. Winter, B. Reardon, S. Win-

ters, D. Gordon; Университет Т. Джефферсона, Филадельфия, США) проанализировали структуру белка датина. Они установили также, что этот белок, состоящий из 248 аминокислотных остатков, взаимодействует с ДНК посредством небольшого N-концевого участка: только первые 36 аминокислот необходимы для образования специфических связей с ДНК.

Для подтверждения этого факта был синтезирован 35-членный полипептид (D-35), повторяющий структуру датина со 2-й по 36-ю аминокислоту. Оказалось, что искусственный пептид достаточно прочно связывается с фрагментами ДНК, богатыми А—Т-парами. Основную роль здесь играет боковая цепь аргинина, в которой азот амидино-

вой группы ($H_2N-C=NH$) образует водородные связи с кислородом-2 в тимине и/или с азотом-3 в аденине.

В синтетическом полипептиде D-35 имеется трижды повторяющийся фрагмент Gly—Arg—Lys—Pro—Gly, содержащий этот остаток аргинина. Интересно, что многие белки, проявляющие сродство к ДНК, тоже имеют в составе своей молекулы этот «мотив» аминокислот и образуют связи именно с А—Т-повторяющимися парами оснований ДНК.

Возникает вопрос, почему остаток аргинина всегда бывает в строго определенном окружении? Мутационный анализ показал, что соседствующие с ним аминокислоты, очевидно, служат для поддержания определенной конформации боковой цепи аргинина, необходимой для эффективного взаимодействия с малой бороздкой ДНК, хотя сами они в связывании белка и ДНК не участвуют.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 1993. V. 90. P. 11327—11331.

Иммунология

Рецептор против паразита

При паразитарных инфекциях число эозинофилов (зернистых лейкоцитов, участвующих в аллергических реакциях) в кро-

¹ Winter E., Varshavsky A. // EMBOJ. 1989. V. 6. P. 1867—1877.

ви, как правило, резко увеличивается и повышается уровень иммуноглобулина E (IgE). Предполагив, что при иммунологической защите организма от паразитов IgE и эозинофилы могут взаимодействовать, А. С. Гунни (A. S. Gounni, Институт Пастера, Лилль, Франция) с американскими и французскими коллегами изучили свойства этих клеток крови у людей, зараженных шистосомой (*Schistosoma mansoni*). Этот паразит из отряда плоских червей (класс трематод), распространённый в Африке, Северной Америке и странах Карибского бассейна, поселяется в стенках сосудов толстого и прямого кишечника, а также в печени.

Внимание исследователей привлек специфический рецептор к IgE. Этот рецептор (Fc_εR1) был ранее обнаружен на поверхности тучных клеток, базофильных лейкоцитов и клеток Лангерганса (макрофагоподобных клеток эпидермиса кожи). С помощью ряда методов (меченный радиоактивным иодом IgE, моноклональные антитела к рецептору, проточная цитометрия, иммуноцитохимические реакции) авторы выявили активный рецептор к IgE и на поверхности эозинофильных лейкоцитов. Было сделано предположение, что именно этот рецептор задействован в активации клеток.

При повышении уровня IgE в крови больными с паразитарными инфекциями эозинофилы (число которых у этих больных также увеличено), несущие на своей поверхности активный рецептор Fc_εR1 к IgE, связывают этот иммуноглобулин. После этого происходит их дегрануляция, т. е. выброс из клетки специфических внутриклеточных ферментов, преимущественно пероксидазы. Активный выброс ферментов из клеток приводит к лизису паразитарных тел. Цитотоксические свойства эозинофилов коррелировали с уровнем IgE в сыворотке крови пациентов, зараженных шистосомой, причем сыворотка от больных с различными аллергическими заболеваниями не вызывала лизиса паразитов, что с очевидностью свидетельствует о высокой чувствительности рецепто-

ров эозинофилов к специфическим IgE.

Таким образом, авторами доказана важная роль обнаруженных на поверхности эозинофилов рецепторов к IgE в иммунологической защите организма от паразитов.

Nature. 1994. V. 367. N 6459. P. 183—186 (Великобритания).

Зоология

Открыт новый примат

Бразильские зоологи во главе с Э. Кейрушем (H. Queiroz), работая в штате Мараньян, на крайнем востоке бразильской части бассейна Амазонки, открыли в тамошних лесах неизвестный науке вид примата. Ему присвоено наименование *Cebus kaapori*.

От близкого ему капуцина-плаксы, или бурого капуцина (*Cebus nigrivittatus*), этот вид отличается в первую очередь строением черепных костей. Окрашен он в серебристо-серый цвет, тогда как плакса — коричневатый. Рост нового для науки животного 50 см; такой же длины у него хвост. Масса взрослой особи около 3 кг.

Значительная часть территории, где встречается этот вид, официально закреплена за индейскими племенами. Однако ни они, ни Управление по охране природной среды Бразилии не имеют средств, чтобы надежно сохранить популяцию «нового» примата.

New Scientist. 1993. V. 140. N 1899. P. 14 (Великобритания).

Медицина

Борьба с артрозом

Новый метод лечения деформирующего остеоартроза разработан А. А. Герасимовым с сотрудниками (Уральский медицинский институт, Екатеринбург). В его основе — подведение импульсного электрического тока с помощью иглы-электрода непосредственно к области поражения сустава и кости (в отличие от накожной стимуляции), благодаря чему достигается уве-

личение плотности электрического тока примерно в 10 тыс. раз.

Проходя через костную ткань, электрические импульсы воздействуют на костные рецепторы, которые участвуют в регуляции обмена веществ в суставе и во всей конечности в целом. В результате лечения в надкостнице восстанавливаются кровообращение и обменные процессы.

Предложенный метод быстро устраняет болевой синдром и другие клинические проявления артроза, сокращает сроки лечения и частоту рецидивов этого заболевания.

Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры. 1994. № 1. С. 29—30 (Россия).

Охрана природы

Остров-заповедник

Небольшой островок Круглый, расположенный в Индийском океане недалеко от о. Маврикий, является уникальным естественным заповедником некоторых исчезающих видов растений и животных. Во всем этом регионе только он свободен от завезенных млекопитающих; к тому же это один из немногих островов в мире, где отсутствуют грызуны. Основную опасность для редких видов растений представляют сорняки, поэтому первый этап десятилетней программы, разработанной для сохранения флоры и фауны этого острова Джерсийским трестом по охране живой природы (Jersey Wildlife Presentation Trust), заключается в борьбе с сорными растениями.

На о. Круглом сохранились остатки пальмовой саванны, которая когда-то занимала на Маврикий значительную площадь; здесь еще продолжают существовать не менее десяти видов исчезающих растений-эндемиков и шесть видов рептилий, находящихся под угрозой исчезновения. Берега этого острова — единственное в Индийском океане место размножения буревестников и еще трех видов морских птиц.

Программой предусмотрено восстановление на острове пальмовой саванны и листовного леса, разведение местных исчезающих растений, включая редкие виды пальм и растений с о. Маврикий. Ученые надеются увеличить численность популяций гекконов, сцинков и удавов боа, которые обитают только на этом острове.

Чтобы избежать ввоза животных извне, въезд на о. Круглый будет осуществляться только по специальным разрешениям.

International Wildlife. 1993. July—August. P. 28 (США).

Геология. Организация науки

Всероссийское совещание по изучению четвертичного периода

С 6 по 11 июня 1994 г. в Москве проходило Всероссийское совещание по изучению четвертичного периода. Оно стало возможным благодаря значительной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Президиума РАН. Его организаторами были Комиссия РАН по изучению четвертичного периода, Отделение геологии, геофизики, геохимии и горных наук РАН и его институты, Московский университет, Московская геолого-разведочная академия и Управление центральных районов Геолкома РФ. Несмотря на множество проблем, с которыми сталкивается в настоящее время отечественная наука, совещание было достаточно представительным — 160 специалистов из 37 городов Российской Федерации. К сожалению, из-за финансовых и организационных трудностей не смогли приехать ученые из других стран СНГ — пришлось довольствоваться лишь тезисами их докладов; отметим, что на совещании присутствовали 10 специалистов из КНР (были представлены доклады по четвертичному вулканизму и лёссам Китая).

Изучение четвертичного периода представляет большой

научный и практический интерес. Это тот этап в истории Земли (последние 1.65 млн. лет), на протяжении которого произошли крупнейшие по геологической значимости события: активизировались геодинамические процессы; сформировался современный рельеф материков; определились ныне существующие или близкие к ним контуры континентов и островных систем; произошло заложение многих крупных речных долин, имеющих современную ориентировку; изменения в начале четвертичного периода орбитальных параметров Земли сказались на климате почти всей планеты; в системе океан — атмосфера — суша возникла устойчивая циркуляция атмосферных масс, обеспечившая появление обширных покровных и горных оледенений, а также отложение серии осадков и их последующие преобразования; сформировались современные или близкие к ним биоценозы, сложились устойчивые геоэкологические ситуации. Наконец, к этому периоду относится появление человека и связанных с его деятельностью предметов и объектов. Все эти проблемы и стали предметом обсуждения на совещании.

В связи с увеличением вдвое объема четвертичной системы (в 1991 г. ее нижняя граница утверждена Межведомственным стратиграфическим комитетом РФ на уровне 1.6 млн. лет) подробно рассматривались вопросы ее стратиграфической номенклатуры и индексации подразделений. Обсуждались проблемы литостратиграфического и палеонтологического расчленения четвертичных отложений суши, шельфа и глубоководных осадочных толщ океана. Результаты исследований последних лет, касающиеся вещественного состава и генезиса четвертичных отложений, новые материалы по биостратиграфии, охватывающие почти все группы ископаемой фауны, а также палеоботанические данные позволяют реконструировать палеогеографические, палеоэкологические, палеоклиматические ситуации прошлого, моделировать возможные изменения климатического режима будущего.

Исследования последних лет в центральной части Русской равнины значительно уточнили и дополнили прежние представления о числе и масштабах оледенений, границах их распространения, характере гляциодинамических процессов.

Приведены новые данные, касающиеся истории развития шельфовых областей, влияния существующих там обстановок на ситуации во внутриконтинентальных зонах.

Новые идеи прозвучали относительно оценки значения процессов образования постоянной мерзлоты в связи с формированием залежей «твердого газа». Эта крупная четвертичная проблема, открывающая возможность освоения новых источников энергетических ресурсов, вероятно, встанет во весь рост в начале следующего столетия.

© М. Н. Алексеев,
доктор
геолого-минералогических наук
Москва

Геология

Четвертичная тектоника

Первое Всероссийское совещание по изучению четвертичного периода стало знаменательным событием для широкого круга специалистов, занимающихся исследованием различных аспектов этого этапа в истории Земли. Замышлялось оно по охвату регионов, как и прежние всесоюзные совещания, однако жизнь внесла серьезные коррективы в его облик. Соблюдены внешние ритуалы подобных форумов: опубликованы тезисы (около 280 сообщений, содержащих многочисленные новые данные), организованы чрезвычайно интересные научные экскурсии по Москве и окрестностям г. Дмитрова, позволившие на конкретных объектах, где продолжались острые дискуссии, глубже понять геологию четвертичного периода центральных районов России. Огорчила же явная деформация состава участников совещания: хотя примерно половину заявленных и принятых к представлению докладов составляли иногородние

авторы, реально немосквичи исчислялись единицами (совершенно очевидно, что такая деформация связана с большими транспортными и командировочными расходами; видимо, в будущем при организации подобных совещаний желательнее предусмотреть возможность оплаты на конкурсной основе участия тех иногородних ученых, чье присутствие представляется совершенно необходимым). Состав участников определил и второй момент: концентрацию внимания на геологии равнинных, платформенных территорий, которые занимают большую часть России и почти все ее жизненно важные районы. Очевидно, такая тенденция может сохраниться и в будущем — как в плане поиска полезных ископаемых, так и в области геоэкологии и оценки опасности стихийных бедствий; скажем, если прежде ведущее место в исследованиях занимали проблемы горных стран (сейсмическая, селевая опасность, сход снежных лавин и т. п.), то теперь они вынуждены «потесниться», уступая место геологическим аспектам таких явлений, как оползни по берегам рек, карст, эрозия почв, а также техногенным процессам (просадки над шахтами, наведенные землетрясения и т. п.).

Общий крен в сторону равнинных территорий и предгорных районов наглядно отразился в работе секции четвертичной тектоники. Ряд докладов был посвящен новым аспектам гляциозостази и так называемым гляциодислокациям. Речь идет о молодых, сложных, но чрезвычайно локальных складчатых дислокациях — мелких складках и разрывных смещениях приповерхностных слоев, которые прежде объяснялись лишь нагрузкой напорной деятельности покровных ледников. Теперь была показана их связь с новейшими тектоническими движениями в литосфере. Сами же эти движения — результат сложного взаимодействия внутриплатформенных геодинамических процессов и тектонического воздействия на платформы соседних подвижных поясов (как горных систем, так и срединно-океанических рифтовых зон).

Один из важнейших аспектов тектоники — развитие

тектонических движений во времени. Сопоставление современных тектонических движений (изучаемых геодезическими, сейсмологическими и ландшафтными методами), позднечетвертичных движений (исследуемых с использованием данных радиоуглеродного датирования, а также археологической и исторической привязки) и, наконец, собственно четвертичных движений за последний миллион лет (изучаемых методами палеомагнетизма) позволяет рассматривать неравномерность течения тактонических процессов как результат интерференции низкочастотных флуктуаций их скорости. Выявлены флуктуации, достигающие десятков миллиметров всего за несколько дней (Камчатка, область перехода от Памира к Тянь-Шаню), сезонные вариации и резкие импульсы движений — до нескольких метров — в связи с сильными землетрясениями, повторяющимися через сотни лет. Значение таких импульсов было показано на примерах Средней Азии, в частности района недавнего Сусамырского землетрясения в Киргизии, где обнаружены также следы древних землетрясений. В зоне уникального по своей выразительности и интенсивности тектонических движений Таласо-Ферганского разлома выявлены южнее Токтогульского водохранилища следы трех катастрофических землетрясений, произошедших за последние 1,5 тыс. лет. Теперь ясно, что прилегающий к Токтогульскому водохранилищу и простирающийся далее на северо-запад до Таласского хребта сегмент этого активного разлома характеризуется более высоким сейсмическим потенциалом, чем его юго-восточная часть, где частота землетрясений, их интенсивность и скорости тектонических движений свидетельствуют о более низкой сейсмичности.

Обнаружены и более продолжительные, но тем не менее короткие по геологическим масштабам времени локальные всплески тектонической активности, позволяющие по-новому оценить скорость формирования тектонических структур. Так, на основе палеомагнитных исследований, учитывающих не только смену знака намагниченности,

но и колебания ее интенсивности, было показано на примере структуры Караджа (западный Азербайджан), что вся сложная цепь геологических событий — завершившееся накопление горизонтальных морских слоев, их смятие в складку с углом наклона 50° и больше, формирование из этой складки горного хребта высотой 278 м и, наконец, образование на его склоне террасы с горизонтально лежащими морскими слоями — все это произошло всего за 30 тыс. лет.

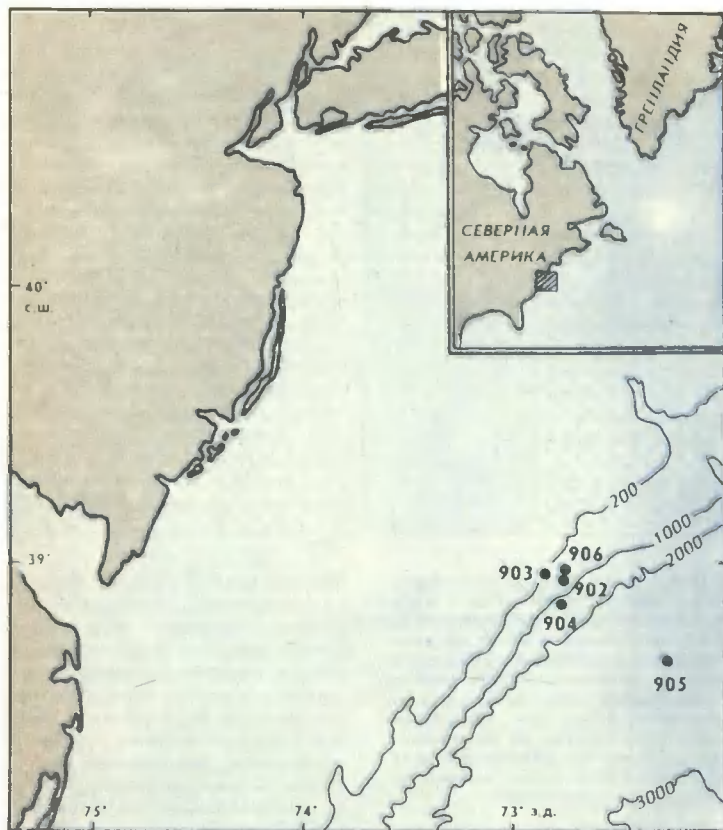
Исследование пространственных и хронологических закономерностей четвертичной тектоники позволило по-новому взглянуть на оценки сейсмической опасности различных территорий, а также на характер воздействия современных геодинамических процессов на пространство хронических заболеланий, физическое и психическое состояние человека. В этом аспекте особенно интересны представленные на совещании первые попытки детальной оценки четвертичной тектоники Москвы и ее ближайших окрестностей. По существу, возникает совершенно новая задача в области изучения молодых тектонических процессов, заключающаяся во всестороннем определении как положительных, так и отрицательных воздействий такой геодинамики на формы обитания и хозяйственной деятельности человека в том или ином регионе России.

© В. Г. Трифонов,
доктор
геолого-минералогических наук
Москва

Геология

150-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»

С 28 мая по 24 июля 1993 г. научно-исследовательское буровое судно «ДЖОЙДЕС Резолюшн» проводило у восточного побережья Северной Америки свой 150-й рейс, который был вторым по программе изучения пассивных континентальных окраин Атлантического океана. Однако если целью бурения в предыдущем, 149-м рей-



Район глубоководного бурения в 150-м рейсе «ДЖОЙДЕС Резолюшн» [902—906 — пять точек, в которых было пробурено 11 скважин; цифры на изолиниях — глубина океана].

се было изучение состава, строения и природы акустического фундамента, то 150-й рейс был целиком посвящен исследованию осадочного чехла. Сначала рейса были Г. Маунтин из Ламонтской геологической обсерватории (Нью-Йорк, США) и К. Миллер из Университета Нью-Брансвика (Нью-Джерси, США).

В рейсе предстояло оценить влияние изменений уровня Мирового океана в кайнозойское время на процессы накопления осадков в пределах пассивных континентальных окраин.

Многоканальным сейсмическим профилированием в осадочном чехле шельфа и континентального склона в районе Нью-Джерси были выявлены и прослежены по латерали многочисленные сейсмоотражающие поверхности. Поэтому в рейсе серией скважин нужно было вскрыть эти поверхности, датировать их и скоррелировать с полученными разрезами осадков. Датирование и расширение природы сеймостратиграфических единиц и разделяющих их поверхностей должны были послужить основой для реконструкции характера осадконакопления на разных морфологических элементах склона, где он должен был найти отражение в связи с гляциостатическими колебаниями уровня океана в кайнозойское время; кроме того, это позволило бы определить ту роль, какую в разные периоды формирования разрезов играли пелагическое осадконакопление, гравитацион-

ное перемещение осадочного материала вниз по склону и его транспортировка вдоль склона контурными течениями.

В рейсе было пробурено 11 скважин в пяти точках, расположенных в интервале глубин 453—2709 м вдоль батиметрического профиля от верхней части склона к его подножию.

Вскрыты осадки кайнозойского возраста, начиная с нижнего эоцена. Несмотря на разное батиметрическое и морфологическое положение пробуренных разрезов, в их составе и строении обнаружены общие черты. Наиболее резкая литологическая граница во всех разрезах отмечена на рубеже эоцена и олигоцена. Ниже этой границы повсеместно встречен пелагический пясчий мел с примесью глинистого материала; выше преобладают терригенные осадки, представленные преимущественно алевритовыми глинами и глинистыми алевритами с прослоями песка (часто с глауконитом) и отдельными горизонтами оползневых отложений. Наблюдаемая смена пелагического осадконакопления терригенным по времени совпадает, и, вероятно, связана с изменениями на рубеже эоцена и олигоцена в системе поверхностной и придонной циркуляции в океане, которая была обусловлена зарождением Циркумантарктического течения, началом покровного оледенения в Антарктиде и глобальным похолоданием климата. Связь с этими событиями подтверждается наличием во всех пробуренных разрезах крупного стратиграфического перерыва, охватывающего нижний олигоцен. Общими для всех изученных разрезов событиями являются также увеличение в нижне-среднемиоценовом интервале содержания диатомей (что отражает высокую биологическую продуктивность поверхностных вод в то время), резкий рост поставки терригенного материала в конце среднего и в позднем миоцене, а также увеличение вниз по разрезу, начиная с кровли миоцена, содержания в осадках солей (что позволяет предположить присутствие на глубине эвапоритов).

Самые важные результаты в рейсе получены при изуче-

¹ Mountain G. S., Miller K. G. et al. New Jersey continental slope and rise. Leg 150 Preliminary Report. 1993. ODP. College Station.

нии в разрезах сейсмоотражающих поверхностей, прослеженных по скважинам через весь континентальный склон. Использование комплекса геофизических методов, включая литологический, микропалеонтологический, магнитостратиграфический и др., позволило идентифицировать и датировать практически все сейсмические границы. При этом один из них удалось скоррелировать с границей стратиграфического несогласия в разрезах, возникших в результате изменений гидрологического режима в придонном слое, другие — с рубежами изменений в изотопном составе кислорода, которые отражают климатические флуктуации.

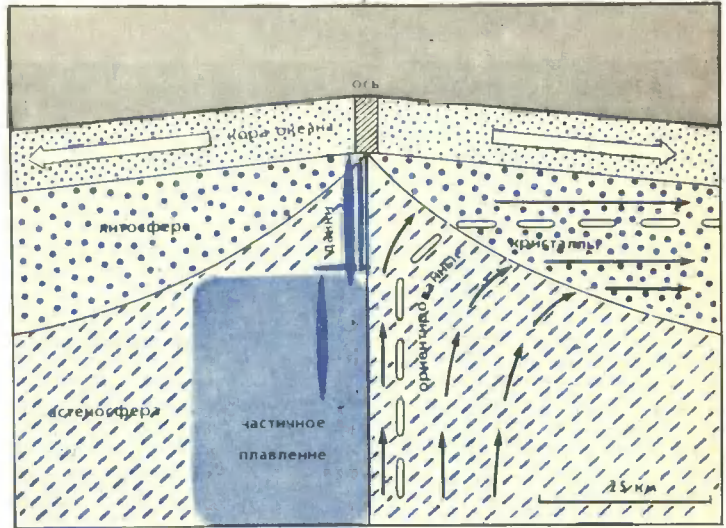
Интригующей является находка слоя микротектитов в верхнеэоценовых осадках (скважины 903 и 904), который, вероятно, представляет собой след падения крупного небесного тела.

© И. А. Басов,
доктор
геолого-минералогических наук
Москва

Геотектоника

Модели образования океанической коры

Ключевым моментом в теории тектоники плит является формирование коры океанов в районах срединно-океанических хребтов. Изверженные базальты, составляющие земную кору под океанами, образуются в пределах узкой зоны (шириной в несколько километров) вдоль оси хребта. Структура коры в этих зонах достаточно хорошо изучена, в то время как моделирование процессов, происходящих глубже, в мантии, сопряжено с серьезными трудностями. В частности, остается неясным, как магма, формирующая океанскую кору, проникает из мантии в узкую осевую зону. Дело в том, отмечает в своей обзорной статье Н. Слип из отдела геофизики Станфордского университета¹, что плавление



Осевая зона срединно-океанического хребта в разрезе. Справа — схема процесса апвеллинга по Блэкмену: показан поток ориентированных кристаллов, определяемый по разности времен пробега сейсмических волн внутри зоны апвеллинга и за ее пределами. Слева — модель по Илдефонсу: меняющиеся во времени напряжения порождают дайки, ориентированные перпендикулярно.

под хребтами происходит при адиабатическом поднятии материала мантии (температура плавления убывает с уменьшением глубины). Тогда доля расплавленного материала в массиве должна быть пропорциональна вертикальной компоненте его скорости в зоне плавления, которая доходит до глубины в несколько десятков километров, а ширина зоны апвеллинга (восходящего потока) должна быть сравнима с этой глубиной. Однако зоны магматической активности в районах срединно-океанических хребтов на десятки километров уже.

Изучая времена пробега сейсмических волн от удаленных землетрясений до сети станций, установленных на дне океана вблизи оси Срединно-Атлантического хребта, Д. Блэкмен с коллегами из Института геофизики и планетарной физики Скриппсовского института океанографии² обнаружили, что

P-волны (волны сжатия) доходят до оси хребта быстрее, чем ожидалось. Тепловой структурой осевых зон этот факт объяснить нельзя, поскольку скорость сейсмических волн в горячих породах должна быть меньше. Ученые предположили, что зона апвеллинга анизотропна, т. е. скорость распространения волн в вертикальном направлении здесь больше, чем в горизонтальном. Эта анизотропия возникает при вертикальном переносе кристаллов оливина — основного материала верхней мантии. Ширина анизотропной зоны при наблюдаемых временах пробега P-волн оценивается в несколько десятков километров, из чего следует, что район апвеллинга действительно намного шире зоны магматической активности.

Возможен альтернативный подход к этой проблеме: если предположить, что магма может перемещаться в горизонтальном направлении в сторону осевых зон, становится понятным, почему так мала их ширина. Французские специалисты из лаборатории тектонофизики Университета Монпелье³ исследовали горные породы в Омне, которые в прошлом были частью океанской мантии. Им удалось выделить изолирован-

¹ Sleep N. H. // Nature. 1993. V. 366. N. 6456. P. 635—636.

² Blackman D. K. et al. // Nature. 1993. V. 365. N. 6456. P. 675—677.

³ Ildefonse B., Nicolas A., Boudier F. // Nature. 1993. V. 365. N. 6456. P. 673—675.

ный участок зоны апвеллинга, не деформированный горизонтальным сжатием, и восстановить схему ориентации в нем даек (интрузии, секущие вмещающие породы). Оказалось, что они составляют сеть каналов, по которым магма могла подниматься к оси океанского хребта. Механика прохождения магмы по различно ориентированным каналам еще не очень понятна, однако в рамках этой гипотезы можно объяснить небольшую ширину зоны срединно-океанического магматизма.

До сих пор модели восходящего потока под осями океанских хребтов представляли собой сочетание элегантно-физики, основанной на простых допущениях, и качественного ана-

лиза изверженных мантийных пород. Работы Блэкмена и его коллег, подчеркивает Слип, свидетельствуют о том, что о процессах в этой зоне можно судить по данным об удаленных событиях, а исследование, проведенное под руководством Илдефонса,— пример того, что тщательное изучение интрузий в породах, некогда сформированных в процессе раздвижения океанского дна, может позволить моделировать механизм апвеллинга. Оба пути, несомненно, таят в себе серьезные трудности, однако, преодолевая их, можно приблизиться к пониманию того, как работают океанские хребты.

© К. А. Дозорова
Москва

Океанология

Стихии сражаются на морском дне

В июне 1993 г. Национальное управление по изучению океана и атмосферы (НОАА) совместно с командованием ВМФ США начало использовать для научных целей систему акустического наблюдения SOSUS (Sound Surveillance System), ранее предназначавшуюся лишь для обнаружения подводных лодок потенциального противника. И уже через четверо суток, 26 июня, гидрофоны этой сети зарегистрировали на дне Тихого океана, в 435 км к западу

Вниманию читателей!

Ф. СП-I		70707									
		АБОНЕМЕНТ на журнал (индекс издания)									
		ПРИРОДА									
		Колличество экземпляров									
на 1995 год											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Куда											
(почтовый индекс)		(адрес)									
Кому											
		(фамилия, инициалы)									
		ДОСТАВочНАЯ КАРТОЧКА									
		70707									
		на журнал (индекс издания)									
		ПРИРОДА									
Стоимость	подписки пере-адресовки	руб. коп.	Колличество экземпляров								
на 1995 год											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Куда											
(почтовый индекс)		(адрес)									
Кому											
		(фамилия, инициалы)									

от побережья штата Орегон, примерно на траверзе города Портленд, всплески необычных акустических сигналов. За первый же час здесь был зафиксирован 31 слабый низкочастотный сейсмический толчок.

Специалисты установили, что землетрясения связаны с извержением подводного вулкана (координаты 46.5° с. ш., 129.6° з. д.), который назвали Эксиал (Осевой). Геофизики и геотектонисты указывают, что этот вулкан расположен на стыке двух активных отрезков разлома земной коры — Ванс и Козксал, отделяющих Тихоокеанскую плиту от плиты Хуан-де-Фука.

К месту события немедленно прибыло канадское научно-исследовательское судно «Талли». Установлено, что извержение сопровождалось мощными выбросами вулканических материалов, образующих длинные «хвосты» в воде, и излияниями лавы, растекающейся по морскому дну. За двое суток центр сейсмической активности сместился к северо-востоку на 37 км; новый ее всплеск отмечался 4 июля, но все эти события, имевшие магнитуду всего около 2.5, не фиксировались «сухопутными» сейсмометрами, и только использование военных гидрофонов позволило их обна-

ружить и проследить. Получаемые данные направлялись в лабораторию НОАА в Ньюпорте, где их подвергали научной обработке.

Канадские ученые на борту «Талли» вели наблюдения за тем, как под влиянием вулканических событий меняется прозрачность морской воды. В районе, где северо-восточный склон Эксиала соприкасается с подводным хребтом Хуан-де-Фука, выброшенные при извержении частицы особенно плотным слоем держатся в нескольких сотнях метров над морским дном, находящимся здесь на глубине 2400 м.

С прибывшего сюда 10

ПРОВЕРЬТЕ ПРАВИЛЬНОСТЬ ОФОРМЛЕНИЯ АБОНЕМЕНТА

На абонементах должен быть проставлен оттиск кассовой машины

При оформлении подписки (переадресовки) без кассовой машины на абонементах проставляется оттиск календарного штампа отделения связи. В этом случае абонемент выдается подписчику с квитанцией об оплате стоимости подписки (переадресовки).

Для оформления подписки на газету или журнал, а также для переадресования издания бланк абонемента с доставочной карточкой заполняется подписчиком чернилами, разборчиво, без сокращений, в соответствии с условиями, изложенными в каталогах Роспечати.

Заполнение месячных клеток при переадресовании издания, а также клетки "ПВ - МЕСТО" производится работниками предприятий связи и Роспечати.

июля американского научно-исследовательского судна «Дискаверер» канадские наблюдения были подтверждены методами термальной съемки. Кроме того, в пределах изверженных «хвостов» обнаружено высокое содержание растворенных в воде железа и марганца. В придонных струях, вытянутых в северном направлении на 39 км от вулкана, аномалия температуры достигает 0.07 °С, а в верхних — превышает 0.18 °С. За неделю, с 12 по 19 июля, содержание радона-22 в верхних изверженных струях значительно сократилось, что, вероятно, свидетельствует о том, что они возникли в результате резких и мощных, но кратковременных выбросов. В придонных же струях такого снижения не наблюдается, что говорит об их сравнительно постоянном пополнении в ходе вулканической активности. Очевидно, эти различные струи порождены разными расщелинами на вершине и склонах подводного вулкана.

Спущенный с борта американского судна телеметрически управляемый подводный аппарат, снабженный точными навигационными, акустическими и химическими приборами, обнаружил вдоль околострофанческой долины поток свежей стекловатой лавы (ширина языка около 300 м, длина не менее 1500 м). Температура воды здесь достигала необычных для подобных глубин 13 °С. В других погружениях аппарат зафиксировал существование на протяжении 6.5 км зоны активных вулканических расселин. Здесь температура воды достигала 23 °С. Съемка рельефа дна с помощью прибора «Sea Beam» и сравнение ее результатов с аналогичными измерениями, выполненными в 1981 и 1991 гг., показали, что свежие лавовые потоки изменили за это время глубину залегания морского дна примерно на 30 м.

Взаимодействие стихии подземного огня с водной средой океана было хотя и локальным, но достаточно бурным. Вулканологи, геологи, океанологи продолжают изучение его последствий.

Smithsonian Institution Bulletin of the Global Volcanism Network. 1993. V. 18. N 7. P. 2 (США).

Гидрология

Каменные стоки рек

Гидрологи и геологи, руководимые Дж. Ларонном (J. Laronne; Университет им. Бен-Гуриона, Неgev, Израиль) и И. Рейдом (I. Reid; Лафборский технологический университет, Великобритания), в пустыне Неgev изучали сток двух вадн — «временных» рек, большую часть года остающихся безводными. Главной их целью было определить количество осадочных пород, переносимых водой в пору активизации рек, для чего на дне рек Нахаль Эштемса и Нахаль Ятир около г. Беершевы были установлены специальные щелевые заборники, сконструированные Рейдом.

Выяснилось, что в пору заполнения водой эти каменные реки несут огромные массы придонных грубозернистых песков и гальки, контактирующих с ложем потока, причем этот процесс идет в среднем в 400 раз интенсивнее, чем в обычных реках. Хотя подобный эффект и предполагался, но до сих пор его масштабы не были известны, так как заполнение вадн водой происходит крайне нерегулярно, непредсказуемо, и постоянных измерений их активности не проводилось.

В отдельные времена и на некоторых участках это явление выглядит еще намного разительней. Так, сопоставив сток Нахаль Ятира со стоком хорошо изученной в гидрологическом отношении «постоянной» реки Ок-Крик в штате Орегон (северо-запад США), исследователи установили, что способность вадн переносить осадочные породы может иногда в 1 млн. раз превышать таковую обычной реки.

Эти выводы чрезвычайно важны при разработке гидрологических проектов для пустынной и полупустынной местности. Очевидно, оценки скорости заполнения осадочными породами водохранилищ, которые возникают при плотинах в засушливых областях, придется серьезно пересматривать.

Становится ясной причиной того, что крупная плотина

Тарабелла на р. Инд всего за несколько лет после ее сооружения на 6 % снизила свою эффективность. Образовавшееся в 30—40-х годах искусственное озеро Мид на р. Колорадо в США у плотины им. Гувера ныне практически целиком заполнено осадочными породами — и это следствие того, что Колорадо в верхнем своем течении проходит через засушливую зону, а часть ее притоков являются «временными», подобными ближневосточным вадн.

Nature. 1993. V. 366. N 6451. P. 148 (Великобритания).

Антропология

Стариковские недуги — не новость

Люди пожилого возраста, в особенности мужчины, часто страдают болезнями позвоночника — идиопатическим гиперостозом и анкилозом, вызывающими ограничение подвижности тела и боли в средней части спины и пояснице. Статистические данные свидетельствуют, что эта болезнь охватывает около четверти всех мужчин в возрасте старше 50 лет. Связывают ее обычно с малоподвижным образом жизни наших современников. Опровержением такой точки зрения могут служить результаты, полученные палеоантропологической экспедицией, которую возглавлял Б. Арриаза (B. Arriaza; Университет штата Невада, Лас-Вегас, США).

Экспедиция, ведя раскопки в Нубии (северная часть Судана), изучила костные остатки 134 взрослых людей, найденные на древнем кладбище. Скелеты принадлежали крестьянам, жившим около 2 тыс. лет назад в деревне около Вадн-Хальфа. Как оказалось, 14 мужчин и 4 женщины страдали теми же болезнями, которые мы считаем следствием нынешней цивилизации: с одной стороны позвонков у них обнаружены специфические выросты.

American Journal of Physical Anthropology. 1994. V. 192. P. 243 (США); New Scientist. 1994. V. 141. N 1909. P. 16 (Великобритания).

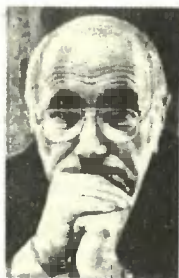
Я. Б. Зельдович, взгляд в бессмертие

А. В. Бялко

ЧИТАЛ весь день, запоем. И не спал полночи, вспоминал, спорил. С авторами, с ним самим, с памятью, с собой. Да, знакомый и незнакомый Яков Борисович, ЯБ. Очень точное заглавие. В своей многогранности он никому не раскрывался полностью, не хотел, не мог. Не может. Загадка — спутник гения. Апокрифы — часть образа. Образ дан в этой книге. Но не икона. Нет, икона никак не получается. Получается — почти живой. С ним так же хочется спорить, как при жизни, и так же, как при жизни, из этого ничего не выходит. Он не дает возражать. Иногда чуть-чуть дает. Но резко обрывает, лишь только переступишь невидимую грань. Звон звезд, гранита грань. Во всех смыслах. С ним очень трудно. И очень интересно. И все это есть в книге. Кое-чего, конечно, нет. Но нет ни строки лишней. А привычно отыскиваемые недостатки редактирования, неприглаженные противоречия авторов во втором чтении иногда оборачиваются достоинствами.

В книге собраны воспоминания 44 авторов — научных соратников Зельдовича, учеников, родных — и немного (зато очень содержательных) документов. Эти материалы подобраны по главам, которые отражают этапы его жизни и широту научных интересов: ленинградский период, казанский, переезд в Москву, химическая физика, атомный проект, элементарные частицы и ядерная физика, механика и математика, астрофизика и космология. Хотя в такой последовательности перемешаны время, место и пред-

ЗНАКОМЫЙ НЕЗНАКОМЫЙ ЗЕЛЬДОВИЧ



ЗНАКОМЫЙ НЕЗНАКОМЫЙ ЗЕЛЬДОВИЧ В ВОСПОМИНАНИЯХ ДРУЗЕЙ, КОЛЛЕГ, УЧЕНИКОВ. Отв. ред. С. С. Герштейн, Р. А. Сюняев. Сост. Н. Д. Морозова. М.: Наука, 1993. (Сер. «Ученые России. Очерки, воспоминания, материалы»).

меты исследований, всем, кто знал ЯБ, ясно, что она, насколько это возможно, соответствует перекрывающимся главам его турбулентной жизни. Необычное достоинство этой книги в том, что в отдельных статьях присутствует серьезное научное содержание, которое в мемуарах, как правило, обходится авторами или искореняется редакторами. Есть даже формулы, но главное — содержательные, частично неопубликованные идеи ЯБ, его собственные или рождавшиеся при общении с ним, — зачастую эти мысли очень непростые, иногда спорные. Но без них книга ли-

шилась бы души — жизненного духа ЯБ. Еще присутствие духа — в его остротах, шутках, стихах, розыгрышах, рассыланных по всей книге. Солёный юмор помнят крепче. С трудом удерживаюсь от цитирования.

Завершают книгу три статьи самого Зельдовича: о друге и родственнике (академике Б. П. Константинове), о себе (послесловие к прижизненному двухтомному сборнику научных работ) и о науке. Последние слова последней из этих статей: «Роковые минуты в этом контексте — это годы и десятилетия, когда решаются судьбы понимания Природы, неисчерпаемой, но познаваемой».

Стала ли книга свидетельством 44 соратников, завершённым нагорной проповедью? Ведь упоминаемый Зельдовичем в последней фразе «контекст» — это цитата Тютчева («Блажен, кто посетил сей мир в его минуты роковые...»), поднимаящая современность до библейских высот. Нет, нет, ... чур меня. Дело тут вовсе не в том, что сам ЯБ был совершенно не религиозен (в одном из острейших мест книги свидетельство дано в воспоминаниях дочери, М. Я. Овчинниковой, и в собственном письме). Имелась в виду, конечно, чисто литературная аналогия, и не исключено, что само по себе сравнение такого рода могло бы ему польстить. Но в первую очередь основа его бессмертия в свершенном деле, а не в пророчествах теоретика, выполнения которых можно еще ждать. Резерфорд и Эйнштейн, Бор и Гейзенберг, Ландау и Оппенгеймер, Ферми и Зельдович, Сахаров и Теллер — это человеческие вершины главного, квантово-ядерного хребта науки. Потому что созда-

ние ядерного оружия и ядерной энергетики на основе квантовой механики — это максимум практической отдачи науки, остальные ее успехи за все времена (включая освоение электричества!) не были оценены обществом соизмеримо с атомным делом. Да и что поставить рядом из последующего? Лазеры? Недоделанную сверхпроводимость? Дивиденды же от взрывов 1945, 1949, 1953 и 1954 гг. там и здесь платились науке (физикам в первую голову) еще полстолетия — они пресекались только что, фигурально — вчера, с прекращением строительства сверхпроводящего суперколлайдера в США и экономическим сжатием нашей страны почти до съедения ее науки. Смешно сказать, издание книги о Зельдовиче финансируется фондом Сороса. С тиражом всего 3 тыс. (книга мелькнула только в московских магазинах «Академкниги»). Спасибо Джорджу. Но где ведомства, выросшие на идеях Зельдовича? Сами бедствуют? Именно потому и бедствуют. Отдадим отчет себе и должное им — ЯБ и АД (Сахарову), которые дали государству незабытое величие, а физикам — десятилетия уверенного существования и относительную свободу самовыражения. Дали ценой, между прочим, собственной свободы.

О несвободе ЯБ в книге сказано. И про то унижение, которое он испытал, когда его дочь родилась в колымской ссылке. И о броне замкнутости, портившей характер. И об ограничениях на зарубежные поездки, укравших долю заслуженной известности, а в результате и Нобелевскую премию. (Впрочем, последнее несобытие, скорее, проблема Нобелевского комитета, напоминающая нам Д. И. Менделеева, чей портрет висит ныне в приемной президента не избравшей его Академии). ЯБ мстил за свою несвободу, мстил остроумно и изощренно. В книге есть тому примеры, но расскажу еще один.

В 1974 г. С. Хокинг создал теорию испарения черных дыр с малой массой. Напомню, это важно для дальнейшего понимания, что, согласно этой теории, такие черные дыры испаряются самоускоряясь,

причем последняя стадия происходит с мощным (по земным масштабам) взрывом. В воспоминаниях — выдержках их книги американского астрофизика К. Торна (она печатается и в «Природе») — живо описаны переживания ЯБ и А. Старобинского, вплотную подошедших к этой физической картине, но не нашедших ее и колебавшихся в признании работы Хокинга. Но было еще последнее действие с подробностями, как более известными, чем предыдущий эпизод, так и с менее. На очередном Объединенном астрофизическом семинаре в ГАИШе, который по понедельникам вел Зельдович, решение Хокинга уже без тени сомнений было должно переполненному залу, затем ЯБ его комментировал. В частности, он с полной серьезностью, без тени иронии сказал: надо думать о гравитационной бомбе. Кто-то подскокил: как, ведь для этого надо сделать искусственную черную дыру? Зельдович уверенно ответил в том плане, что и не с такими задачами справлялись. На чем и разошлись.

Однако вскоре к нам, в Институт Ландау, пришла вежливая, но настоятельная просьба эту идею негласно прокомментировать. Думаю, многие из специалистов по теории гравитации писали тогда на эту тему. Смысл моего ответа состоял в бескомпромиссном доказательстве невозможности изготовить черную дыру, а в случае, если я не прав, — в бессмысленности такой бомбы как оружия, поскольку она не подложит производному хранению и взорвется в момент, заданный при ее изготовлении. Надо сказать, что у этих размышлений был и научный выход: через несколько лет была опубликована моя статья о последних стадиях взрыва черной дыры, потом я имел удовольствие рассказывать ее Хокингу.

Но вернемся к ЯБ. Вопрос-то был прост. Уверен, что он обдуманно голову морочил, точно зная, что любая его фраза, в которой есть слово «бомба», не может остаться без серьезных последствий. Ядовитая шуточка. Но в этой истории есть и намек на то, как много материалов о ЯБ ждут своих исследователей в закрытых архивах.

Стоит ли превращать рецензию на сборник воспоминаний в дополнение к тексту? Но раз уж начал... У меня были сложные отношения с ЯБ. Его рецензии на мои статьи в «ЖЭТФе» были положительными и конструктивными, при личных встречах он хвалил мои опубликованные работы, книгу, тепло приветствовал, бывая у нас в институте, в 73-м на конференции в Цахкадзоре познакомил с Сахаровым, мы сидели за одним столом. Но свободно говорить — выступать на его семинарах — не давал никогда. Придешь в Институт прикладной математики, слушаешь организацию очередного коллективного напора в развитие свежей мысли шефа, скажешь две-три вводных фразы о постановке задачи в своей работе, и уже до свиданья. Тем более — на Объединенном астрофизическом. Не скрою, что и я умел высказать скептическое отношение к космологическим концепциям ЯБ: «кутиный нос» в схеме роста неоднородностей Вселенной казался мне далеко не самым важным, я сомневался, можно ли говорить о его «блинах» на нелинейной стадии, да и сейчас, убей, не вижу, как из них следует четкая структура мира, структура иной топологии. Тогда я возмущался жестким прессингом ЯБ, подозревал его в неискренности похвал, сам же не считал весомой для него похвалу его выдающимся работам. Теперь мне кажется, что дело было в ином: он был нетерпим не к критике решений, а к критике концепций, той, которая могла подорвать его абсолютный авторитет лидера. Фома неверный? Вкладываю ли персты в рану? Рана была, она до сих пор кровоточит в воспоминаниях поздних учеников. Но как отличать научную критику? Однажды он предложил мне задачу, я, подумав, отказался ее делать, не разделяя его физического подхода. Жалею? И да, и нет, но в обе стороны — очень. Можно было сделать научную карьеру, но индивидуальность пришлось бы потерять. Ну и оставаясь себе индивидуальным... Да, еще забавная подробность: только через несколько лет после первых кон-

тактов с ЯБ я узнал, что он был оппонентом на докторской защите моего рано умершего деда, К. М. Бялко.

Сложные отношения ЯБ с людьми, их взаимные обиды при жизни были зачастую так сильны, что всплески эмоций прорезают многие из статей, и это необычно для книг-воспоминаний. Тем паче фигура умолчания в яркой и содержательной статье Л. Б. Окуня, не упомянувшего даже имени своего учителя А. Б. Мигдала при рассказе об известном акростихе ЯБ в «УФН». Имени Мигдала вообще нет в книге, так что может создаться ложное впечатление, что шутовской «обмен любезностями» между ним и ЯБ был сродни его яростной ссоре с И. С. Шкловским (описанной подробно). Это не так, оба академика любили рассказывать о своем остроумии, отнюдь не выпячивая научные разногласия. «Ведь порою и молчанье...»?

Это не единственный крупный пробел. Почему-то в книге отсутствуют воспоминания сотрудников ЯБ из Института физических проблем, последнего места работы. Нет Л. П. Пятаевского, занявшего (или уже освободившего?) кресло

Л. Д. Ландау и последовательно И. М. Лифшица и самого Зельдовича. Вообще, хотелось бы видеть мнение школы Ландау, лучше всего бы,— И. М. Халатникова. Но уж совершенно необъяснимо, почему в книге нет воспоминаний сотрудника Института им. Л. Д. Ландау А. А. Старобинского, ученика и соавтора, неоднократно упоминаемого самим ЯБ в послесловии к собранию сочинений.

ЯБ был счастлив в жизни и науке, он светился этим счастьем и щедро освещал им окружающих. Всеобщее мнение, отраженное почти всеми статьями книги, можно сформулировать так: ЯБ имел стопроцентный «коэффициент успеха» — ему удавались все его начинания. Тем более характерна подробно изложенная в нескольких воспоминаниях история конфликта Зельдовича с РИСО (Редакционно-издательским советом Академии) по поводу издания нескольких его книг (частично в соавторстве с А. Д. Мышкисом), в которых математика излагалась с прикладной, физической точки зрения. С одной стороны, в этом деле успех ЯБ тоже можно считать полным:

например, его книга «Высшая математика для начинающих» вышла 5-ю изданиями общим тиражом, превышающим полмиллиона. С другой же стороны, его оригинальный метод изложения математики подвергался резкой критике со стороны ригористов, не приемлющих «вторжения со стороны», критике незаслуженной, однако имевшей прямые последствия, поскольку с ее помощью в РИСО блокировалось планирование очередного издания. ЯБ активно оборонялся, причем в пылу борьбы был искренне не склонен считать себя победителем. В конечном счете — он был им.

В книге изрядное число интересных иллюстраций. Но держитесь особо на фотографии ЯБ военного времени (с. 25), это единственный его взрослый портрет без очков. Его глаза на этой фотографии — разные, одним глазом он смотрит на вас, другим — в бесконечность. Позади Ленинград тридцатых, когда пара непродуманных слов — и человек распят или четвертован, но взгляд ЯБ спокоен, не расстроен, он лишь раздвоен между жизнью и вечностью, он, как Воланд, смотрит на нас и в бесконечность. В бессмертие.

Марко Поло... европейский первопечатник?

З. Е. Гельман,
кандидат химических наук

ПРИНЯТО СЧИТАТЬ, что немецкий изобретатель Иоганн Гутенберг в 40-х годах XV в. первым предложил способ, позволивший получать произвольное число идентичных оттисков с формы, состоящей из подвижных литер. Однако приоритет европейского первопечатника Гутенбергу отдают далеко не все историки. «Гутенбергский вопрос» существует не одно столетие. В. И. Вернадский в лекции о распространении книгопечатания подчеркивал недоказанность того, что «Гутенберг был первым, открывшим книгопечатание, и что раньше него не было других лиц, которые также независимо пришли к той же самой мысли»¹.

Не мог ли Гутенберг заимствовать технологию книгопечатания? Если допустить такое предположение, то возникает вопрос, у кого или через кого. В связи с этим всплывает имя великого итальянского путешественника Марко Поло (1254—1324).

В записках о своих странствиях Марко Поло, проведенный в Китае при дворе правившего там монгольского хана Хубилая почти четверть века, ничего не сообщает о книгопечатании. Но ведь известно из достоверных источников, что первые опыты по книгопечатанию были предприняты в Китае еще в XI в.

© Гельман З. Е. Марко Поло... европейский первопечатник?

¹ Вернадский В. И. Избр. труды: по истории науки. М., 1981. С. 83.



Возвращение Марко Поло. Старинная гравюра.

Русский исследователь К. А. Скачков (1821—1883) в докладе «О заслугах венецианца Марко Поло по распространению познаний в Азии», прочитанном в Русском географическом обществе в 1865 г.,

вслед за англичанином Р. Керзоном, обратил внимание на то, что Марко Поло не только привез из Китая печатные доски к себе в родную Венецию, но и пользовался ими. Более того, Скачков приводит предание, подробно описанное Керзоном, согласно которому Гутенберг, женатый на венецианке, применял такие доски до изобретения печатания подвиж-

ными буквами. Скачков полагает, что «нет ничего невозможного, если Гутенберг видел не только печатные доски, а и подвижные китайские иероглифы или же подвижные монгольские буквы, которыми Марко Поло тоже мог запастись в Китае»².

А тот факт, что Марко Поло конкретно ничего не говорит о китайском книгопечатании, нельзя расценивать как свидетельство, что он ничего о нем не знал. Ведь он не упоминает в своей книге и Великую Китайскую стену, хотя, исколесив вдоль и поперек весь Китай, он не мог не заметить этого гигантского соору-

жения, тем более что, несомненно, многократно пересекал его.

Поразительно, но Марко Поло ни словом не обмолвился ни о порохе, изобретенном в Китае, вероятно, еще в VI в., ни о первом китайском огнестрельном оружии, представлявшем собой бамбуковую трубку, заряженную порохом и пулей. Правда, Марко Поло все же пишет о неких «громоподобных лао сверхъестественной силы». Но это не порох, так горят... ветви зеленого бамбука³. Раздается такой грохот, что люди должны «затыкать уши хлопком, натягивать на голову одежды, а коням связывать ноги, завязывать глаза и затыкать уши... поскольку слышать этот гро-

хот — самое страшное, что только бывает на свете». Может быть, великий путешественник обещал своим монгольским покровителям не раскрывать тайны пороха?

Марко Поло рассказывает про календари, эдикты, гороскопы и т. д., но каким способом они воспроизведены — ни слова. Может быть, и книгопечатание составляло «государственную тайну»? Ведь известно из исторических хроник, что в 1328 г. налог только на 3 123 185 экземпляров выпущенного в печатном виде государственного календаря принес казне Хубилая доход в размере не менее 3,3 млн. фыней. Разумеется, печатались и бумажные деньги.

Однако вопрос о приоритетах в книгопечатании так и остается за плотной завесой времени.

² Скачков К. А. О заслугах венецианца Марко Поло по распространению познаний в Азии. Читано в Общем Собр. Имп. Русск. Географ. об-ва 6 окт. 1865 г. СПб., 1865. С. 19.

³ Lippmann E. O. Chemisches bei Marco Polo // Zeitschrift für angewandte Chemie. 1908. Jg. 21. Heft 34. August. S. 1787.

Над номером работали
Ответственный секретарь
Л. П. БЕЛЯНОВА

Заместитель ответственного
секретаря
В. И. ЕГУДИН

Научные редакторы
И. Н. АРУТЮНЯН
О. О. АСТАХОВА
М. Ю. ЗУБРЕВА
Г. М. КАРАСЕВА
Г. В. КОРОТКЕВИЧ
Л. Д. МАЙОРОВА
М. С. ПОКРОВСКАЯ
Н. В. УСПЕНСКАЯ
О. И. ШУТОВА

Литературный редактор
Г. В. ЧУБА

Художественные редакторы
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Заведующая редакцией
И. Ф. АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Е. Е. БУШУЕВА

Компьютерный набор
М. Н. ГРИЦУК

Корректоры
Р. С. ШАЙМАРДАНОВА
М. Ю. СИРОТНИКОВА

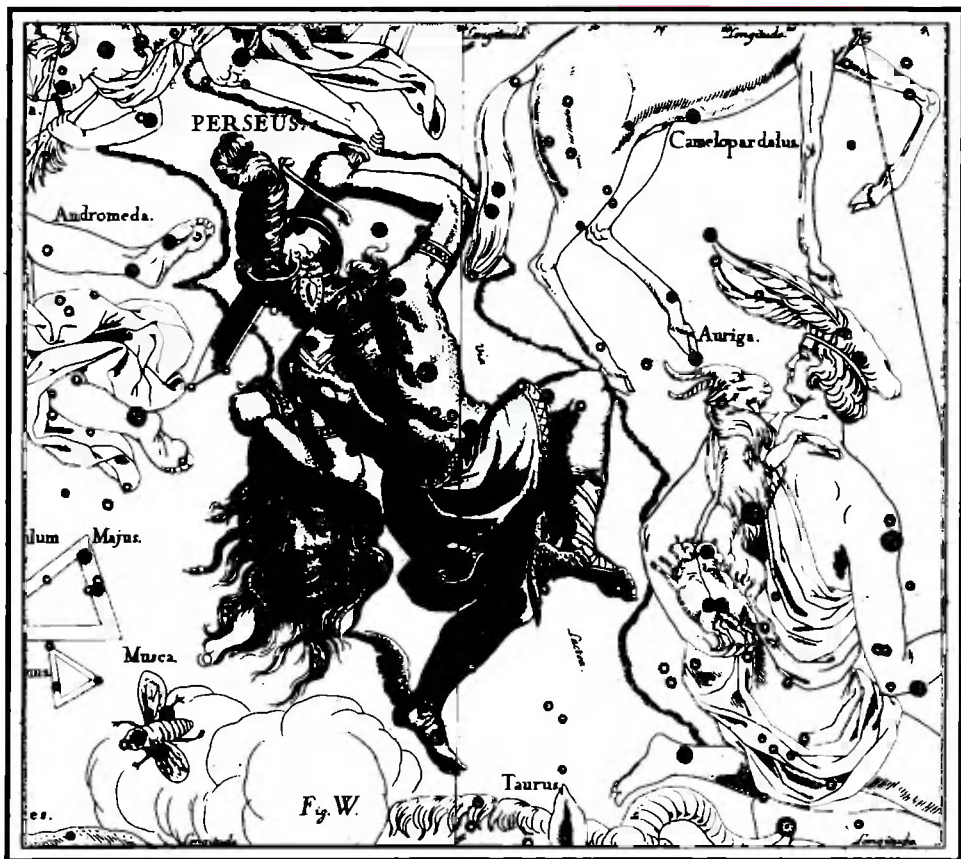
В художественном оформлении
номера принимали участие
В. И. ЕГУДИН
В. С. КРЫЛОВА

Ордена Трудового Красного
Знамени Всероссийское
объединение «Наука»

Адрес редакции:
117810, Москва, ГСП-1
Мероновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 1.07.94
Подписано в печать 16.08.94
Формат 70×100 1/16
Бумага книжно-журнальная № 2
Офсетная печать
Усл. печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 193,0 тыс.
Уч.-изд. л. 15,0
Тираж 7199 экз.
Зак. 3006

Ордена Трудового
Красного Знамени
Чеховский
полиграфический комбинат
Комитета Российской Федерации
по печати
142300 г. Чехов
Московской области



Каким образом и когда древний человек населил небо рыбами, птицами и людьми? Из глубин каких культур пришли такие названия, как Кит, Гидра, Волпас? Казалось, эти вопросы никогда не будут иметь однозначного ответа. Однако читателю предоставляется возможность оценить новый и достаточно неожиданный подход к решению задачи, которая долгое время воспринималась как своего рода квадратура круга.

РОЖДЕНИЕ НЕБЕСНОЙ КАРТЫ

Гурштейн А. А. НЕБО ПОДЕЛЕНО НА СОЗВЕЗДИЯ В КАМЕННОМ ВЕКЕ

Кызласов И. Л. КАРТА НЕБА, СКРЫТАЯ ЗЕМЛЕЙ

Раевский Д. С. ЗВЕЗДНОЕ НЕБО КАК ЯВЛЕНИЕ КУЛЬТУРЫ

