

ISSN 0032-874X

4 ПРИРОДА

1982



ПРИРОДА

Ежемесячный
популярный
естественнонаучный
журнал
Академии наук СССР

Основан в 1912 году



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик
Н. Г. БАСОВ

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТЮШКОВ

Доктор биологических наук
А. Г. БАННИКОВ

Академик
Д. К. БЕЛЯЕВ

Член-корреспондент АН СССР
А. Л. БЫЗОВ

Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА

Академик
Б. М. КЕДРОВ

Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ

Член-корреспондент АН СССР
В. Л. КРЕТОВИЧ

Доктор философских наук
Н. Ф. ОВЧИННИКОВ

Заместитель главного редактора
В. М. ПЕТУХОВ

Заместитель главного редактора
член-корреспондент АН СССР
Ю. М. ПУЩАБИН

Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ

Доктор зоологии
М. А. ЧЕРНЫШОВА

Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ

Член-корреспондент АН СССР
В. Е. ХАЙН

Член-корреспондент АН СССР
Р. Б. ХЕСИН

Академик
В. А. ЭНГЕЛЬГАРТ

Доктор биологических наук
А. В. ЯБЛОКОВ



— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы. Подробно о программе см.: «Природа», 1979, № 1, с. 28.

На первой странице обложки. Островной тюлень (*Phoca vitulina richardi*) — редкое в отечественной фауне морское млекопитающее. См. в номере: Кузин А. Е. Островной тюлень.


Фото С. В. Маракова.

На четвертой странице обложки: В Южной Туркмении коневодство существовало во Пять тысячелетий до н. э. именно в тех местах, которые позднее славились ахалтекинцами. См. в номере: Ковалевская В. Б. Ахалтекинцы: наследство, за которое мы в ответе.

Фото А. С. Штроха.

©Издательство «Наука»
«Природа», 1982 г.

В НОМЕРЕ

60-ЛЕТИЮ СССР	У истоков советской науки и техники	2
	Артюшков Е. В. Программа «Литосфера»	9
	Вельков В. В. Опасны ли опыты с рекомбинантными ДНК	18
	Перельман А. И. Палеогеохимия ландшафтов	28
	Из «Природы» 1912 года	36
КРАСНАЯ КНИГА	 Кузин А. Е. Островной тюлень	37
	Борман В. Д., Николаев В. И. Новые кинетические явления в молекулярных газах	42
	Ковалевская В. Б. Ахалтекинцы: наследство, за которое мы в ответе	52
	Петров Ю. В. Гибридные ядерные реакторы и мюонный катализ	62
	Федоров А. С. Классик научной популяризации. (Воспоминания об академике С. И. Вавилове)	73
	Мурдмаа И. О. Геологическая история Мексиканского залива (77-й рейс «Гломара Челленджера»)	80
	Сидоренков Н. С. Неравномерность вращения Земли и движение полюсов	82
	Харин Н. Г., Пратов У. Встреча с сильфиумом через 2000 лет?	92
	Визгин В. П. Аристотелевская теория тяготения: качественный подход	97
НОВОСТИ НАУКИ		105
КНИГИ, ЖУРНАЛЫ	Кирсанов В. С. История жизни Макса Планка [117]. Полетаева И. И. «Говорящие» обезьяны [118]	117
НОВЫЕ КНИГИ		27, 120
В КОНЦЕ НОМЕРА	Сапрыкина Н. Г. Портреты из коллекции Ф. Ф. Вигеля	123

У истоков советской науки и техники

В условиях развитого социализма открываются все более широкие возможности как для развития науки, так и для всестороннего использования ее завоеваний во всех сферах жизни общества. КПСС отводит современной науке большую роль в решении грандиозных задач, поставленных перед нашим обществом XXVI съездом. В этом прослеживается глубокая преемственная связь с политикой вовлечения науки в практику социалистического строительства, у истоков которой стоял В. И. Ленин.

Развитию науки В. И. Ленин уделял особое внимание; в своей деятельности руководителя молодого Советского государства он глубоко вникал в различные научные и технические проблемы. Об этом, опираясь на некоторые факты, приведенные в биографической

хронике В. И. Ленина¹, и рассказывается в публикуемой подборке материалов.

Материалы подготовлены старшим научным сотрудником Института истории естествознания и техники АН СССР, кандидатом исторических наук В. А. Волковым.

¹ Владимир Ильич Ленин. Биографическая хроника. М., т. 1, 1970 — т. 11, 1981. Издание, подготовленное Институтом марксизма-ленинизма при ЦК КПСС, в котором год за годом, по дням, а иногда и по часам прослеживается жизненный путь В. И. Ленина. (Далее при ссылках на это издание будет указываться только номер тома и страницы.)

1917 г., между 3 и 10 (16 и 23 октября).

Ленин нелегально возвращается из Выборга в Петроград... и направляется на квартиру М. В. Фофановой... На этой квартире Ленин живет вплоть до своего прихода в Смольный — вечером 24 октября (6 ноября).

Т. 4, с. 373.

Последние дни перед Великой Октябрьской Социалистической революцией для Ленина были заполнены исключительно напряженной работой по подготовке вооруженного восстания пролетариата. И все же, по свидетельству М. В. Фофановой¹, он успел ознакомиться с книгой выдающегося ученого, основоположника биогеоценологии, создателя отечественной геоботанической школы В. Н. Сукачева «Болота, их образование, развитие и свойства». В своих воспоминаниях Фофанова писала, что книга Сукачева², которая заинтересовала Владимира Ильича, «входила в програм-

му зачета по луговодству, я по ней занималась и оставила ее на столе в столовой». Рассказав далее, что как-то вечером, в ее отсутствие, Ленин прочитал эту книгу, Фофанова приводит его слова по поводу содержащихся в книге данных о торфе: «Там же замечательные мысли! — сказал Ленин. — И как интересно, захватывающе она написана! Какое громадное практическое, хозяйственное значение имеют болота! Подумайте, что творится в нашей матушке России. Подумайте, какой огромный процент земли находится под болотами. А ведь они могут стать центрами богатейших торфяных разработок, добычи дешевого топлива и, значит, дать нам дешевое электричество»³.

В книге Сукачева не говорилось об электричестве. Но зато в ней были приве-

¹ М. В. Фофанова (1883—1976) в то время училась на Высших женских сельскохозяйственных курсах им. И. А. Стебута, где преподавал В. Н. Сукачев.

² Сукачев В. Н. Болота, их образование, развитие и свойства. Петроград. 1915. См. о В. Н. Сукачеве подборку статей: Владимир Николаевич Сукачев.— Природа, 1978, № 7, с. 73.

³ Фофанова М. В. — В кн.: О Владимире Ильиче Ленине. Воспоминания. 1900—1922 годы. М.: Госполитиздат, 1963, с. 291—292.

дены данные о теплотворной способности торфа и о его практически неисчерпаемых запасах в наших болотах.

По мнению Фофановой, возможно, «эта книга послужила толчком к первоначальному замыслу Владимира Ильича о плане ГОЭЛРО»⁴. По свидетельству Г. М. Кржижановского, в декабре 1919 г.

Ленин обратил его внимание («...на широкие возможности использования торфа в качестве источника энергии. Он указал на его огромные запасы, географически удобное местонахождение, на теплотворную ценность и сравнительную легкость добычи»⁵).

⁴ Там же, с. 292.

⁵ Правда, 1 января 1956 г.

1918 г., апрель, 25.

Ленин знакомится с докладной запиской секретаря СНК Н. П. Горбунова от 25 апреля 1918 г. о создании научно-исследовательского Российского института пищевых веществ: подчеркивает начало и конец записки и на первом листе ее пишет поручение Н. П. Горбунову: «1). Напечатать. 2). Выбрать имена 5—10 подходящих ученых [в России] и специалистов и им изготвить запрос от правительства».

Т. 5, с. 406.

В записке, представленной Ленину, говорилось о необходимости развертывания в Республике научных исследований, связанных с поисками пищевых заменителей картофеля, зерна и других натуральных продуктов: «Нужно учредить Российский институт питательных веществ, отпустив на это нужные кредиты. Поручить это дело можно одному из наших научных учреждений или группе ученых, поставив их под научный контроль, хотя бы Академии наук или одного из университетов». Заканчивалась же докладная записка так: «Данные здесь приводимые, почерпнуты из компилятивной статьи проф. В. Л. Омелянского, помещенной в январском номере журнала «Природа» за этот год. Им же впервые была брошена мысль о создании в России института для изучения мукомольного, хлебопекарного и дрожжевого дела»¹. Записка Горбунова представляла собой реферат этой статьи В. Л. Омелянского, которая называлась «Война и хлебный кризис»².

А далее события развивались стремительно. В мае 1918 г. под председательством Н. П. Горбунова, П. И. Вальдена, Л. А. Чугаева и Л. Я. Карпова (заведующий Химическим отделом ВСНХ, первый руководитель советской химической промышленности) были проведены совещания профессоров Москвы и Петрограда, в которых приняли участие виднейшие ученые (Н. С. Курнаков, Д. Н. Прянишников, В. Е. Тищенко, В. А. Палладин, Н. Д. Зелинский, А. А. Яковкин, В. Г. Хлопин). На этих совещаниях были рассмотрены основные направления деятельности будущего института, его организационная структура, разработано «Временное положение о Российском научно-техническом пищевом институте». В конце мая 1918 г. Горбунов информировал Ленина: «Владимир Ильич! Пищевой институт начерно уже организован. К работам привлечены все лаборатории и научные учреждения Москвы и Петрограда... У меня только что окончился съезд (около 30 человек) лучших научных сил — химиков, химиков-технологов, физиологов, ботаников, гигиенистов, бактериологов и химиков-физиологов. На днях подготовлю на рассмотрение декрет»³. 17 июля на заседа-

¹ Вопросы истории естествознания и техники, вып. 18, М.: Наука, 1965, с. 99—100. Впервые текст докладной записки Н. П. Горбунова по указанию В. И. Ленина был опубликован в журнале «Народное хозяйство» (1918, № 4, с. 11—12).

² В. Л. Омелянский (1867—1928) — микробиолог, академик, автор трудов о роли бактерий в круговороте азота и углерода, анаэробному разложению клетчатки. Первым указал на возможность применения бактерий как химических индикаторов. О жизни и деятельности В. Л. Омелянского см.: Исачен-

ко Б. Л. Академик В. Л. Омелянский. — Природа, 1928, № 9, с. 771. Подробнее об этом эпизоде см.: Альтшулер С. В. Реферат, доложенный В. И. Ленину. Об одном выступлении журнала «Природа» в 1918 году. — Природа, 1969, № 2, с. 84.

³ История СССР, 1968, № 5, с. 59.

нии СНК под председательством Ленина было утверждено Положение об институте, а 31 июля 1918 г. Ленин подписал декрет о создании Российского пищевого научно-технического института⁴. Работой вновь

⁴ Создание пищевого института — лишь один из эпизодов энергичной деятельности НТО и группировавшегося вокруг него «научного сообщества» по созданию новых, советских научно-исследовательских учреждений. Только в 1918—1919 гг. были созданы также Научный институт по удобрениям, Институт прикладной минералогии и металлургии, Центральный аэрогидродинамический институт, Государственный институт прикладной химии, Научно-исследовательский институт по изучению Севера и др. Если в дореволюционной России научные силы были сосредоточены исключительно в высших учебных заведениях, то после Октября, наряду с вузами, ведущими

организованного института Владимир Ильич постоянно интересовался. Так, 3 декабря 1919 г. он поручил Секретариату СНК запустить отчет о проделанной работе Российского пищевого института за период с 1 января по 1 декабря 1919 г.⁵ Работа института обсуждалась и на заседаниях СНК, на которых председательствовал Владимир Ильич.

очагами науки становятся академические и отраслевые научно-исследовательские институты, которые возглавили А. Н. Бах, В. И. Вернадский, Л. А. Чугаев, Н. Д. Зелинский, Н. Е. Жуковский, Д. Н. Прянишников, Н. С. Курнаков и др.

⁵ Обзор деятельности Петроградского отделения института, подготовленный В. Л. Омелянским, также опубликован в «Природе» (1919, № 4—6, с. 277—284).

1918 г., ноябрь, 29.

Ленин знакомится с письмом заведующего НТО ВСНХ Н. П. Горбунова от 28 ноября 1918 г. по вопросу о его работе, о настроениях ученых, о переходе их к сотрудничеству с Советской властью. Горбунов сообщал о совещании ученых, которое высказалось за немедленную организацию экспедиции на Кара-Богаз-Гол и просил Ленина дать оценку работы НТО...

Т. 6, с. 260.

В работе «Очередные задачи Советской власти» (1918) Ленин впервые поставил вопрос о необходимости исследований гигантских запасов мирабилита (глауберовой соли) залива Кара-Богаз-Гол. К решению этой проблемы были привлечены крупные научно-исследовательские силы, выделены значительные по тому времени ассигнования. 28 ноября 1918 г. Н. П. Горбунов сообщил Владимиру Ильичу: «После вчерашнего совещания о Кара-Богазе... профессора, специально приехавшие из Питера на это заседание, еще долго оставались у меня и оживленно, восторженно говорили о новой работе, о новых планах, а после, увлекшись, пошли домой не по панели, а по середине улицы. Они сами начинают увлекаться, а воодушевившись, начинают зажигать своих скептиков-коллег. Я знаю наших ученых. Ничего подобного я никогда еще не видел... Я все время чувствую Ваше внимание, Владимир Ильич, к этой работе...»¹. На этом совещании, которое так воодушевило ученых (в его работе принимали участие академи-

ки Н. С. Курнаков, П. П. Лазарев, профессора, а позднее также академики Л. А. Чугаев, Я. В. Самойлов и другие ученые) был детально обсужден план посылки на Кара-Богаз-Гол первой советской комплексной научно-промышленной экспедиции, руководителем научной части которой был назначен Н. С. Курнаков. Условия военного времени не позволили сразу же начать работы, однако уже летом 1921 г. экспедиция приступила к исследованиям залива. Владимир Ильич постоянно интересовался ходом работы экспедиции².

В августе 1922 г. была завершена программа предварительных исследований, и следующей задачей стала организация промыслов в районе береговых выбросов мирабилита. Метод переработки солей залива был разработан в Институте физико-химического анализа АН СССР под руководством академика Курнакова³. Одновре-

¹ Организация науки в первые годы Советской власти (1917—1925). Сб. документов. Л.: Наука, 1968, с. 87.

² 24 сентября 1921 г. В. И. Ленин вновь поручил Н. П. Горбунову «выяснить насчет Кара-Бугаза» (Ленин и В. И. Полн. собр. соч., т. 53, с. 225—226).

³ См. статьи: Степанов Н. И. Новый метод химии и Институт физико-химического анализа. — Природа, 1925, № 7—9, с. 115; Ронкин и Б. Л. Поездка по Карабугазу. — Природа, 1928, № 7—8, с. 723.

менно на заводах Азнефти были успешно проведены в полупромышленном масштабе работы по переработке глауберовой соли для нужд промышленности. В 1924 г. началась промышленная разработка богатств залива Кара-Богаз-Гол. Трест Карабогазсульфат (с 1975 г. — Производственное объединение Карабогазсульфат) яв-

ляется единственным в нашей стране предприятием, удовлетворяющим потребности различных отраслей народного хозяйства в глауберовой соли, бишофите, эпсомите и других ценных химических продуктах. На берегу залива вырос современный поселок Бекдаш — культурный и экономический центр района.

1919 г., ранее 7 марта.

Ленин на одном из заседаний СНК в ответ на возражение кого-то из участников против ассигнования кредитов на научно-исследовательские цели, говорит (как писал заведующий НТО Н. П. Горбунов), что каждая лаборатория, организованная в Республике, ничего, кроме пользы, принести не может.

Т. 6, с. 580.

«Нет такого научно-технического начинания, которое так или иначе не было бы связано с именем Владимира Ильича. Засыпка бухты и новые нефтяные вышки в Баку, гидроторф, горючие сланцы и сапропели..., туруханский графит, петуховские содовые заводы, Карабугаз, тепловозы, спирт из торфа, Курская магнитная аномалия и т. д. и т. д. Этот список можно было бы продолжать без конца»¹. Так писал в своих воспоминаниях о Ленине Н. П. Горбунов². Именно ему по роду своей работы чаще всего приходилось выполнять различные поручения Ленина. Инженер-химик по образованию, активный участник Октябрьской революции, Горбунов 12 ноября 1917 г. был назначен секретарем СНК и одновременно стал личным секретарем Ленина. Ленин высоко ценил организаторские способности Горбунова, его высокую эрудицию как специалиста-химика, умение работать с людьми. Горбунов выполнял важные поручения Ленина, связанные с привлечением к сотрудничеству с Советской властью Академии наук. В начале апреля 1918 г. Ленин поручил находящемуся в Петрограде Горбунову посетить непременно секретаря Академии наук С. Ф. Ольденбурга и

сообщить ему, что СНК «считает крайне желательным возможно широкое развитие научных предприятий Академии и приглашает Академию довести до сведения Совета (Народных комиссаров) об имеющихся предположениях экспедиций, предприятий и изданий Академии с тем, чтобы им могло быть оказано скорейшее содействие»³.

В том же 1918 г. Ленин поручил Горбунову разработать и подготовить для доклада в СНК проект создания в Республике централизованного органа, который бы руководил постановкой научно-технической работы. Проект положения о научно-техническом отделе ВСНХ обсуждался на заседании СНК 31 июля, 12 августа и был утвержден 16 августа 1918 г. По декрету СНК от 16 августа 1919 г., подписанному Лениным, научно-технический отдел создавался «в целях централизации всего научно-технического опытного дела Российской Социалистической Федеративной Советской Республики, сближения науки и техники с практикой производства, распределения между научными и техническими учреждениями, обществами, лабораториями, институтами, опытными станциями и т. п. специальных заданий Советской власти, вытекающих из нужд народного хозяйства, и контроля над выполнением этих заданий...»⁴. Первым председателем Коллегии и заведующим научно-техническим отде-

¹ Горбунов Н. П. Как работал Владимир Ильич. М.: Партиздат, 1933, с. 32—33.

² В июне 1982 г. научная общественность нашей страны будет отмечать 90-летие со дня рождения академика Н. П. Горбунова. О его жизни и деятельности см.: Пей в в Я. П. Ученый и государственный деятель. — Природа, 1968, № 10, с. 96.

³ Владимир Ильич Ленин. Биографическая хроника. Т. 5, с. 358—359.

⁴ Декреты Советской власти, т. 3. М., 1964, с. 212—215.

Дорогой Владимир Ильич

Посылаю Вам несколько изданий журнала "Природа", который мы хотим поддержать и использовать для целей ближней науки с промышленностью. Посылаю также ряд выпусков Комиссии по изучению естественных производительных сил России при Академии Наук,

Фрагмент записки Н. П. Горбунова В. И. Ленину от 17 сентября 1918 г., в которой упоминается журнал «Природа».

Центральный партийный архив
Института марксизма-ленинизма при
ЦК КПСС, ф. 5, оп. 1, д. 974.

лом Ленин рекомендовал Горбунова. 21 августа 1918 г. СНК под председательством Ленина утвердил состав Коллегии НТО. В связи с назначением на новый пост Горбунов был освобожден от обязанностей секретаря СНК.

К работе в НТО привлечены крупнейшие ученые Республики — А. Н. Бах, В. Н. Ипатьев, А. Е. Ферсман, А. Н. Крылов, Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, П. П. Лазарев, Л. А. Чугаев, В. Г. Хлопин (к началу 1919 г. актив ученых, группировавшихся вокруг Петроградской и Московской научных комиссий НТО ВСНХ, насчитывал 200 человек). «При НТО состоят в настоящее время 54 научно-технические учреждения, — писал Горбунов Ленину 12 июля 1919 г., — считая только по Москве и Петрограду и не включая сюда учреждений НТО, имеющих в провинции. Многие из этих учреждений являются сами по характеру своему центральными, имеют всероссийское значение, ряд своих отделений. НТО, безусловно, за последнее время сосредоточил вокруг себя почти всех виднейших представителей науки и техники всей России»⁵.

В «Наброске плана научно-технических работ» Ленин писал: «Академии наук, начавшей систематическое изучение и обследование естественных производительных сил России, следует немедленно дать от Высшего совета народного хозяйства поручение образовать ряд комиссий из специалистов для возможно более быстрого составления плана реорганизации промышленности и экономического подъема России». В примечании к словам «систематическое изучение и обследование естественных производительных сил» он указывает: «NB: Надо ускорить издание этих материалов изо всех сил»⁶.

Важной стороной деятельности НТО стало издание материалов по изучению естественных производительных сил, широкое освещение в печати вопросов связи науки и промышленности. По поручению НТО ВСНХ в сборе таких материалов самое широкое участие принимала созданная в 1915 г. Комиссия по изучению естественных производительных сил России (КЕПС). В библиотеке В. И. Ленина в Кремле хранится ряд книг из этой серии. (См. напр.: Прасолов Л. И. Почвы. Сост. по поручению НТО ВСНХ Комис. по изучению естеств. производит. сил России при Рос. акад. наук. Госиздат, 1921. На обл. дарственная надпись: «Владимиру Ильичу от главного редактора академика Ал. Ферсмана»⁷).

В планах НТО предусматривалось и привлечение журнала «Природа» к широ-

⁶ Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 36, с. 228.

⁷ См.: Библиотека В. И. Ленина в Кремле. Каталог. М., 1961, с. 406.

кому освещению вопросов связи науки и промышленности. 17 сентября 1918 г. В. И. Ленин получил от заведующего НТО Н. П. Горбунова несколько номеров «Природы»⁸. В сопроводительной записке Горбунов писал о намерениях поддержать журнал и «использовать для целей сближения науки с промышленностью»⁹. Журнал активно включился в реализацию планов НТО. Об этом говорят новые рубрики, появившиеся в нем в тот период: «Естественные

науки и строительство в СССР», «Жизнь институтов и лабораторий», «Природные ресурсы» и др. Авторами опубликованных материалов были А. Е. Ферсман, В. И. Вернадский, П. П. Лазарев, Л. А. Чугаев, А. Н. Бах, В. А. Обручев, Ю. А. Филипченко, В. А. Стеклов, В. Л. Комаров, В. Н. Сукачев, В. Л. Омелянский, Г. О. Графтио и другие видные ученые, участвовавшие в перестройке научной жизни на новых началах.

Н. П. Горбунов с большой тщательностью записывал все поручения Владимира Ильича, собирал связанную с ними переписку. Благодаря этому удалось получить неоценимый материал для биографической хроники Ленина.

⁸ Владимир Ильич Ленин. Биографическая хроника. Т. 6. М., 1975, с. 131.

⁹ ЦПА ИМЛ, ф. 5, оп. 1, д. 974.

1919 г.

Ленин принимает делегацию ученых во главе с А. Е. Ферсманом, беседует по вопросам организации научных сил и роли ученых в экономике страны.

Т. 8, с. 173.

«В разговорах с делегацией, в которой мне пришлось участвовать,— вспоминал А. Е. Ферсман,— Владимир Ильич призывал «зубами» отстаивать интересы научной работы и считал, что в этом направлении сами ученые должны проявить самостоятельность и инициативу. Это отношение к науке чрезвычайно красочно характеризует фигуру Ленина, считавшего, что хозяйственное строительство страны может быть успешно лишь на базе ее научного исследования. С редкой интуицией охватывал Владимир Ильич исторические и социальные процессы: он поразительно улавливал черты будущего развития, и, когда еще в 1919 г. мне пришлось с ним беседовать по вопросам организации научных сил, он подчеркнул, что ждет от русской науки больших достижений, но при условии, если она не будет отставать от народного хозяйства. «Впрочем, хозяйственное строительство на новых началах неизбежно вовлечет науку в сферу своих интересов» — прибавил он. Эти слова оказались пророческими»¹.

Ленинские слова оказались пророческими и для самого академика Ферсмана, всю свою жизнь посвятившего исследованию минеральных богатств страны. Уже осенью 1920 г. первая советская экспедиция под его руководством выехала для изучения Хибин. Между южными отрогами плато Кукисвумчорр исследователи обнаружили кусок апатитовой руды. А в 1923 г. на другом плато — Расвумчорр — целое поле апатитовых глыб... Через два года на Кольском полуострове А. Е. Ферсманом были найдены величайшие в мире залежи «камня плодородия» — апатитов, ценнейшего природного сырья. Там, где в 1920 г. прошла первая экспедиция, выросли огромные горно-химические заводы, а на месте пустынных тундр были созданы города².

¹ Петроградская правда, 27 января 1924 г.

² Первые итоги исследований Хибин были подведены А. Е. Ферсманом в статье «Проблемы Хибинских и Ловозерских тундр» (Природа, 1929, № 5, с. 379). См. также его статью «Апатито-нефелиновая проблема в 1930, 1940 и 1950 гг. (К десятилетию города Кировска)». — Природа, 1940, № 1, с. 36.

1920 г., август, 26.

Ленин подписывает протокол № 147 распорядительного заседания ЦО от 25 августа 1920 г. и принятые на нем проекты и постановления: ...о работах по разведыванию глубоким бурением района Курской магнитной аномалии.

Т. 9, с. 218.

«Вопрос о Курской магнитной аномалии, которому суждено сыграть огромную роль в промышленности не только нашего Союза, но и в жизни всего мира, представляется одним из наиболее крупных и интересных практических вопросов, который был тесно связан с именем В. И. Ленина,— писал в своих воспоминаниях академик П. П. Лазарев. — После того как...положение части аномалии в 1919 г. было исследовано, встал вопрос о геологических исследованиях и исследованиях практических путём бурения, причем возник вопрос о передаче работы в ведение ВСНХ. ВСНХ организовало Комиссию, где председателем был И. М. Губкин, я был заместителем и начальником магнитного и геофизического отдела... На мне до середины 1923 г. лежало финансовое и административное руководство Комиссии... Во время одного из посещений руководимого мною Института биологической физики, когда Горький расспрашивал меня о ходе наших работ, я ему рассказал о всех тех трудностях, которые встречаются на пути исследования Курской магнитной аномалии. Горький внимательно выслушал меня и сказал: «Самое лучшее, если вы об этом напишете Владимиру Ильичу».

Я тогда высказал предположение, что письма, которые будут направлены к Ленину, могут не дойти до него или дойдут с большим опозданием, на что Горький мне сказал: «Я сам передам эти письма Ленину». Одна такая записка по поводу трудностей при исследовании Курской магнитной аномалии была составлена мною и была затем передана А. М. Горьким Ленину. Действие получилось для меня совершенно неожиданное, так как ряд препятствий принципиального характера после этого письма исчез, и некоторое время работа шла быстро и без шероховатостей.

Далее в вопросе о Курской магнитной аномалии решающим обстоятельством послужило посещение В. И. Лениным руководимого мною института (встреча состоялась 22 апреля 1922 г. — В. В.).

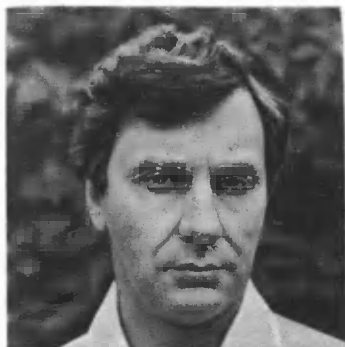
Когда ему пришлось делать рентгеновский снимок в области шеи и груди по поводу операции удаления пули, В. И. Ленин был вместе с Н. А. Семашко, и после рентгенографии и рентгеноскопии он провел довольно долгое время, беседуя со мной о наших работах, главным образом по поводу Курской магнитной аномалии... Ленин внимательно выслушал мои соображения и указал, что судить по существу об аномалии он не может, как неспециалист, и что он желал выслушать меня как человека, близко знакомого с этим делом, при этом Ленин предложил мне передавать ему в случае затруднений краткие записки через Н. А. Семашко для того, чтобы сдвинуть дело в те моменты, когда какие-нибудь обстоятельства тормозили работу. Я воспользовался несколько раз этим предложением (помнится, 3—4 раза) и через Н. А. Семашко давал соответствующие сведения и каждый раз получалось совершенно магическое действие; после указаний Ленина получался сразу правильный подход к делу, получалась возможность вести работу так, как это было нужно...

Мы можем с полным правом утверждать, что без Ленина не было бы предпринято это грандиозное комплексное исследование, получающее в настоящее время такое большое практическое значение. Несомненно, что идейная помощь Ленина, его ясное понимание задач, которые стояли перед исследованием, сыграли колоссальную роль в тех успехах, которые были получены в этой области, и затруднения, которые встретились на пути исследования, были бы непреодолимыми, если бы Ленин своими авторитетными указаниями не исправлял всех неправильностей, которые возможны во всяком деле и которые в таком большом деле, как Курская магнитная аномалия, должны встречаться весьма часто.»¹

¹ Ленин и Академия наук. Сб. документов. М.: Наука, 1969, с. 109—112.

Программа «Литосфера»

Е. В. Артюшков



Евгений Викторович Артюшков, доктор Физико-математических наук, старший научный сотрудник Института физики Земли АН СССР. Занимается проблемами физики твердой Земли. Автор многих работ, посвященных происхождению движений в недрах Земли и на ее поверхности, в том числе монографии: Геодинамика. М., 1979. Автор ряда статей в «Природе» (1973, № 10; 1979, № 10). Член редколлегии журнала «Природа».

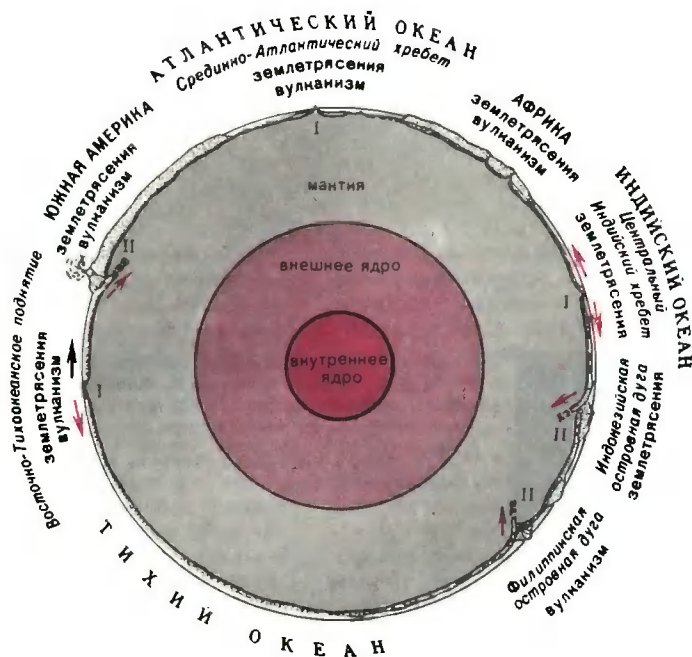
Твердая Земля — это сложное образование, в котором одновременно протекает множество различных процессов. Поэтому ее изучение требует совместного использования различных методов геологии, геофизики, геохимии и геодезии. Строение земной коры и мантии в горизонтальном направлении весьма неоднородно. Чтобы понять, как развивается Земля в целом, необходимо проводить исследования на всей ее поверхности, что требует участия многих стран. Поэтому в последние десятилетия в науках о Земле особую важность приобрели международные организации, ориентированные на изучение главных проблем ее строения, динамики и эволюции с помощью совокупности различных методов. Первым мероприятием такого рода был Международный геофизический год в 1957—1958 гг. В 60-х годах его сменил международный проект «Верхняя мантия», организованный по инициативе В. В. Белоусова. В 70-х годах исследования были в значительной мере сконцентрированы в рамках крупного международного «Геодинамического проекта».

За время осуществления «Геодинамического проекта» были получены важные результаты. Достаточно полно разработана концепция тектоники плит, описывающая

крупномасштабные горизонтальные движения земной коры как перемещение небольшого набора крупных блоков-плит¹. На этой основе подробно изучена история развития таких движений за последние 200 млн лет и отчасти за предшествовавшие им 400 млн лет. Геофизическими исследованиями в верхней мантии выявлены крупные неоднородности. Причем эти неоднородности оказались связаны с областями интенсивной тектонической активности на поверхности Земли. В лабораториях, в стационарных условиях, были получены давления, которые существуют в нижней мантии и ядре, что дало возможность исследовать свойства минералов в этих условиях. Теоретические исследования в какой-то мере прояснили природу сил, которые приводят к движениям земной коры и землетрясениям.

Все эти достижения вместе со многими другими результатами способствовали более глубокому пониманию глобальных процессов. Однако основные успехи «Геодинамического проекта» были следствием изучения твердой Земли преимущественно

¹ Хаин Е. В. Происходит ли научная революция в геологии? — Природа, 1970, № 1, с. 7; Зоненшайн Л. П. Проблемы глобальной тектоники. — Природа, 1972, № 11, с. 15.



Разрез Земли, показывающий образование пород океанической коры и литосферы в области океанических хребтов (I) и погружение океанической литосферы в области активных окраин континентов (II). Упрощенная схема из: Rona P. — EOS, Trans. Amer. Union, 1977, v. 58, p. 630.

под океанами. Для океанических областей получена достаточно простая схема развития земной коры и подстилающих ее частей мантии. Распределение движений коры на континентах и их окраинах гораздо сложнее, и для них не удалось найти относительно простого общего объяснения. Более того, земная кора под океаническими котловинами сравнительно молода: ее возраст не превышает 200 млн лет. Это намного меньше возраста Земли, составляющего 4,5 млрд лет. На континентах сохранились горные породы самого различного возраста, современное состояние которых отражает все этапы геологического развития планеты, поэтому они несут гораздо больше информации, чем породы под океанами. Следовательно, для понимания динамики нашей планеты в настоящее время необходимо активизировать геологические и геофизические исследования в континентальных областях.

Континенты, на которых живет основная часть населения Земли, являются

главным источником минеральных и энергетических ресурсов. Наряду с этим в пределах континентов происходит большинство таких стихийных бедствий, как землетрясения и извержения вулканов. Под влиянием деятельности человека в земной коре происходят все более значительные изменения, которые представляют угрозу для состояния окружающей среды. Фундаментальные науки о Земле достигли в последнее время такого уровня, что они могут оказать значительную помощь в обеспечении человечества минеральными и энергетическими ресурсами, в снижении последствий землетрясений и извержений вулканов, а также в защите той части окружающей среды, которую составляет верхняя часть земной коры.

Все эти соображения послужили основой для создания в 1981 г. международной программы «Литосфера». Ее полное название: «Динамика и эволюция литосферы как основа для выявления минеральных ресурсов и снижения последствий стихийных бедствий». Программа рассчитана на 10 лет. Она организована Международным союзом геодезии и геофизики, Международным союзом геологических наук и Международным советом научных союзов. Организации программы предшествовала длительная разработка ее

СХЕМА ОРГАНИЗАЦИИ МЕЖСОЮЗНОЙ КОМИССИИ ПО «ЛИТОСФЕРЕ»

Рабочие группы, ориентированные на фундаментальные исследования

1. **Современные движения и деформации плит**
Председатель К. Касахара (Япония)
2. **Фанерозойские движения плит и орогенез**
Председатель Р. Ван дер Во (США)
3. **Протерозойская эволюция литосферы**
Председатель А. В. Сидоренко (СССР)
4. **Архейская литосфера**
Председатель Б. Уиндли (Англия)
5. **Явления внутри плит**
Председатель Д. Робертс (Англия)
6. **Эволюция и природа океанической литосферы**
Председатель Ж. Франшето (Франция)
7. **Эволюция палеосреды океанов и атмосферы**
Председатель К. Сю (Швейцария)
8. **Субдукция, столкновение и аккреция**
Председатель К. Кобаяси (Япония)
9. **Процессы и свойства Земли, которые управляют эволюцией литосферы**
Председатель К. Фурадво (Франция)

Координационные комитеты, объединяющие деятельность рабочих групп вокруг проблем преимущественно прикладного характера

1. **Геология и геофизика окружающей среды**
Председатель В. А. Магницкий (СССР)
2. **Минеральные и энергетические ресурсы**
Председатель В. Хэтчисон (Канада)
3. **Координационный комитет по наукам о Земле в развивающихся странах**
Председатель Д. Аякайе (Нигерия)
4. **Эволюция магматических и метаморфических процессов**
Председатель В. С. Соболев (СССР)
5. **Строение и состав литосферы и астеносферы**
Председатель К. Фукс (ФРГ)
6. **Континентальное бурение**
Председатель Х. Видал (ФРГ)
7. **Центры данных и обмен данными**
Председатель М. Чиннери (США)
8. **Координационный комитет национальных представителей**

тематики и структуры, в которой участвовали и советские ученые.

Литосфера — это верхний слой Земли, обладающий высокой прочностью. В общем случае она включает земную кору и прилегающие к ней холодные и наиболее вязкие части верхней мантии. Предполагается, что мощность литосферы в стабильных областях континентов близка к 100 км. В океанических областях она изменяется от нескольких километров на осях срединно-океанических хребтов до нескольких десятков километров и более — у окраин континентов. Под литосферой располагается астеносфера — слой, где вязкость вещества резко понижена. Благодаря этому, как предполагается, крупные блоки литосферы могут перемещаться на большое расстояние в горизонтальном направлении.

Руководство осуществлением международной программы «Литосфера» возложено на межсоюзную комиссию, которая включает бюро из 7 членов², 9 рабочих групп и 8 координационных комитетов. Президент комиссии Р. А. Прайс

(Геологическая служба Канады), генеральный секретарь — Е. А. Флинн (НАСА, США). Комиссия объединяет более 350 крупнейших ученых из разных стран, занимающихся науками о твердой Земле. Рабочие группы ориентированы, в первую очередь, на решение фундаментальных проблем. Координационные комитеты занимаются вопросами в основном прикладного характера. Для более успешного их решения они координируют деятельность рабочих групп.

Рассмотрим более подробно некоторые проблемы, которым посвящена программа «Литосфера».

Основная часть континентальной земной коры была сформирована на ранних стадиях эволюции Земли: в архейское (3,8—2,6 млрд лет назад) и протерозойское (2,6—0,6 млрд лет назад) время. Вещество коры выделилось вследствие химической дифференциации мантии. Судя по ряду данных, температура коры в архее была значительно выше, чем сейчас. Тогда, например, в широких масштабах происходило излияние подушечных ультраосновных лав, которое уже не имело места в последующие геологические эпохи. Для образования таких лав температура на небольших глубинах должна была быть очень высокой (примерно 1400°C). Это,

² Членом бюро межсоюзной комиссии по «Литосфере» является и автор настоящей статьи.— Прим. ред.

в свою очередь, требует теплового потока, идущего через кору к поверхности, в 3—4 раза более высокого, по сравнению с его современными значениями.

Если тепловой поток в архее был столь высоким, это означает, что состояние мантии сильно отличалось от современного. Об этом же свидетельствуют и большие различия в химическом составе многих типов магматических пород архея и пород, характерных для более поздних эпох. Выявление термодинамического состояния коры и мантии и химического состава мантии в архее — задача большой важности.

Судя по тому, что все породы, включая самые древние, намагничены, в недрах Земли уже в начале архея, по-видимому, существовали конвективные течения, которые служили и служат источником геомагнитного поля. Большой интерес представляет вопрос, как происходила конвекция в ядре и мантии на ранних стадиях эволюции Земли.

Вязкость горных пород быстро падает с ростом температуры. При высоких температурах коры и мантии в архее понижение вязкости, характерное для астеносферного слоя, могло происходить на глубинах всего лишь в несколько десятков километров. По-видимому, в таких условиях не могли существовать крупные литосферные плиты, так как тонкая архейская литосфера обладала низкой прочностью. При этом складчатые деформации коры под влиянием горизонтальных движений могли возникать на значительно более широкой площади, чем в современную эпоху.

Некоторые архейские породы образовались явно на дне глубоководных бассейнов. Отсюда следует, что в архее на Земле уже существовали океаны. Однако состав воды в них, а также состав архейской атмосферы еще мало известны. В архейское время в достаточно широких масштабах формировались базальты, близкие к породам, которые залегают на дне современных океанов. Это, вероятно, означает, что в архее происходило образование океанической коры. Компенсация последнего процесса в современную эпоху, согласно концепции тектоники плит, происходит главным образом за счет субдукции — погружения в мантию океанической литосферы в зонах Заварицкого — Бенюфа. Такое погружение обычно сопровождается андезитовым вулканизмом, типичным для островных дуг, таких как Камчатка, Курильские о-ва, Япония и другие. В ар-

хейское время андезитового вулканизма почти не было. Поэтому весьма вероятно, что не было и субдукции. В таком случае компенсация разрастания дна океана происходила только за счет сжатия коры.

Для современной эпохи имеются представления о том, как в целом взаимодействуют различные тектонические структуры, расположенные на поверхности Земли. Для архейского же времени такие представления пока отсутствуют. Реконструкция глобальной тектоники для раннего периода развития Земли, в частности проверка применимости к нему концепции тектоники плит, — задача исключительной важности. Решив ее, можно было бы подойти и к другой проблеме: какие физические механизмы приводили к движениям коры и мантии в архее.

В протерозойскую эру происходила перестройка комплекса динамических процессов в твердой Земле. За это время они постепенно приобрели облик, характерный для последних 600 млн лет развития планеты, а также для современной эпохи. Около полутора миллиардов лет назад впервые появилась континентальная кора, по своему облику не отличающаяся от современной. В протерозойское время сформировались ядра континентов, в дальнейшем отличавшиеся значительной стабильностью. Они составляют около двух третей площади современных континентов. Однако до сих пор неизвестно, какой же именно физико-химический процесс привел к образованию континентальной коры в протерозойское время. В эту же эпоху впервые появились такие магматические породы, как щелочные базальты и граниты, образующиеся в широких масштабах и в настоящее время. Вероятно, появление щелочных пород в протерозое отражает достаточно мощную континентальную кору.

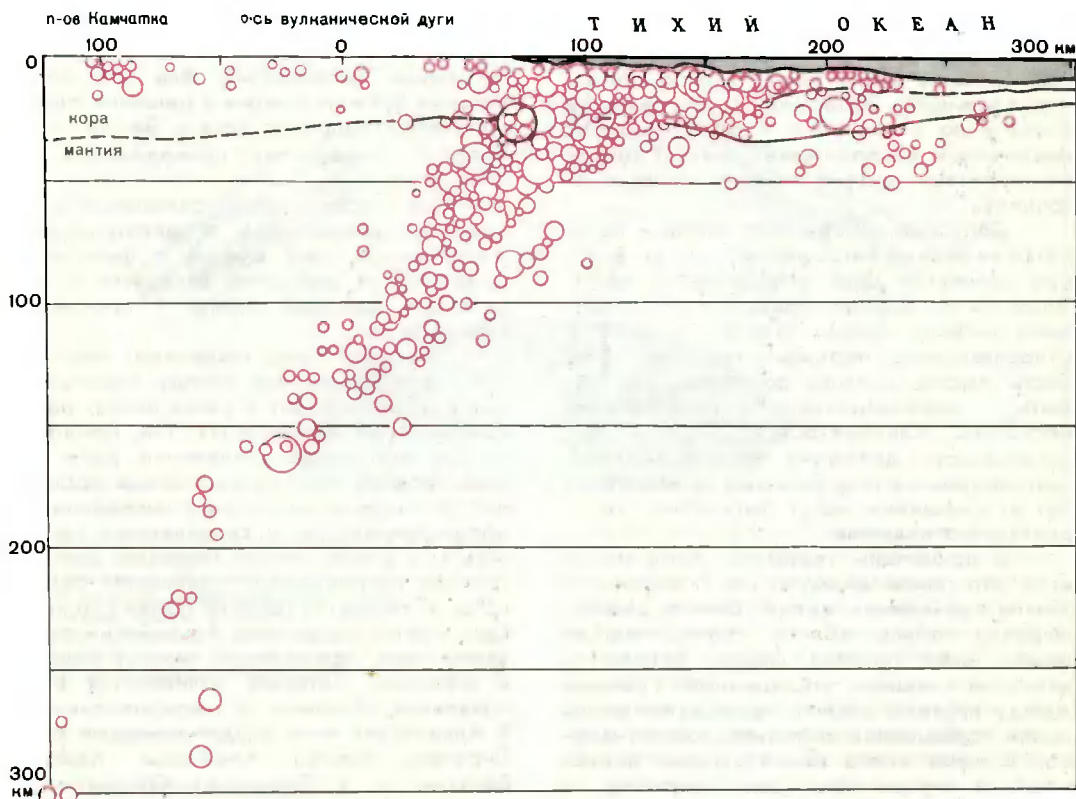
В протерозойское время впервые начали формироваться толщи осадочных пород, которые часто содержат важные виды полезных ископаемых. Характерным примером являются конгломераты месторождения Витватерсранд в Южной Африке, мощность слоя которых достигает 10 км. Эти конгломераты содержат значительное количество урана и золота. Какие тектонические движения могли обеспечить накопление столь мощной толщи конгломератов и почему в них попало так много урана и золота, остается неизвестным. Во всяком случае, в последующие геологические эпохи такие толщи конгломератов больше не возникали.

В архейское время на Земле зародилась жизнь. В архее и особенно в протерозое органическое вещество, по-видимому, играло уже заметную роль в образовании осадочных пород. Изучение поведения органического вещества в литосфере в эти эпохи имеет большое самостоятельное значение.

Здесь упомянуты только некоторые проблемы развития Земли в архее и протерозое. Однако в любом случае ясно, что рабочим группам программы «Литосфера», ориентированным на эволю-

цию литосферы в архее и протерозое, предстоит очень много работы. В поле их зрения лежит основная часть времени жизни Земли. Изучение происходивших в это время процессов, а также их изменений во времени, позволит значительно лучше понять, как происходила эволюция планеты.

Перейдем теперь к обсуждению некоторых проблем, касающихся новейшей эволюции литосферы. Ее горизонтальные движения на современном этапе развития Земли чаще всего описывают в терминах



Проекция гипоцентров камчатских землетрясений на вертикальную плоскость, ориентированную перпендикулярно Камчатской дуге, в районе Петропавловска-Камчатского (по С. А. Федотову и др.). Землетрясения на глубине свыше 50 км, по-видимому, происходят в океанической литосфере, погружающейся в мантию.

тектоники плит. Согласно этой концепции, по поверхности Земли происходит перемещение со скоростью в несколько сантиметров в год огромных блоков литосферы. Считается, что эти блоки-плиты являются жесткими, а их основные деформации сосредоточены вблизи границ между плитами. По различным данным удается оценить среднюю скорость относительного перемещения плит только за очень большие промежутки времени, измеряемые

миллионами лет. Не исключено, однако, что движение плит в действительности не является равномерным и что скорости их относительных перемещений за небольшое время могут значительно изменяться.

Развитие радиоастрономии и технологии, связанной с использованием искусственных спутников Земли, позволило в последнее время вплотную подойти к непосредственному измерению скорости относительного перемещения плит. Эти измерения могут производиться несколькими способами. Рассмотрим, например, систему двух антенн, принимающих сигналы от мощных внегалактических источников — квазаров³. Поскольку источник расположен очень далеко, то вблизи Земли лучи, падающие на обе антенны, можно считать параллельными. Задержка сигнала на одной антенне по отношению к другой при их неизменном расположении зависит только от ориентации антенн по отношению к источнику.

Допустим теперь, что антенны находятся на разных литосферных плитах, которые движутся друг относительно друга. Тогда по изменению задержки поступающего сигнала можно судить о величине относительного перемещения плит. Точность такого метода позволяет обнаружить перемещения, превышающие несколько сантиметров. Скорость относительного движения плит измеряется сантиметрами в год. Поэтому за несколько лет их смещения могут быть обнаружены достаточно надежно.

В концепции тектоники плит считается, что плиты движутся по поверхности Земли как единое целое, сильно деформируясь только вблизи границ между ними. Такая простая схема, возможно, является слишком упрощенной. Границы между плитами обычно проводятся вдоль линий повышенной сейсмической активности. Однако много землетрясений происходит и внутри плит, как, например, в Средней Азии в нашей стране. Производя измерения, аналогичные описанным выше, в пределах одной и той же плиты, можно будет установить, в какой мере плиты деформируются в процессе их перемещения по поверхности Земли.

Известно, что сильным землетрясениям и извержениям вулканов часто предшествуют значительные деформации лито-

сферы. Поэтому наблюдения за движениями земной коры могут оказать большую помощь в прогнозе этих стихийных бедствий. Такие наблюдения широко осуществляются и с помощью повторных нивелировок — традиционных методов геодезии. Физический механизм сильных землетрясений пока еще не вполне ясен, и для его изучения предстоит провести широкую программу исследований. Помимо измерений современных движений земной коры, она включает сейсмологические и электромагнитные наблюдения за состоянием очаговых зон, измерения механических напряжений в крупных массивах горных пород, анализ выделений газов из мантии, изучение смещений земной коры за последние тысячелетия. Все эти исследования должны помочь в решении одного из главных вопросов наук о Земле — вопроса о природе сил, приводящих в движение плиты.

Все исследования, связанные с новейшими движениями и деформациями литосферных плит вместе с физическими природой их движений относятся к компетенции рабочей группы 1 программы «Литосфера».

Согласно представлениям тектоники плит, взаимодействие между отдельными плитами происходит в узких зонах, расположенных на их границах. Так, предполагается, что при столкновении двух континентальных плит на их границе происходит утолщение коры, сопровождающееся образованием гор и складчатыми деформациями в сжимаемых породах. Действительное распределение движений земной коры оказывается гораздо более сложным. Рассмотрим, например, Альпийский складчатый пояс, проходящий между Европой и Африкой, которые сближаются в направлении, близком к меридиональному. В Альпийский пояс входят молодые горы: Пиренеи, Альпы, Апеннины, Карпаты, Балканы — к северу от Средиземного моря и Атласские горы — к югу от него. В этом же поясе, в Средиземном море, есть впадины глубиной в несколько километров: Алжиро-Прованская, Тирренская, Эгейская, которые также образовались совсем недавно. Образование впадин обычно связывают с погружением коры, ставшей тоньше в результате растяжения. Но такое растяжение в Альпийском поясе очень трудно совместить с представлениями о его общем сжатии.

Ширина альпийского пояса примерно тысяча километров. Деформации литосферы в нем распределены на большей

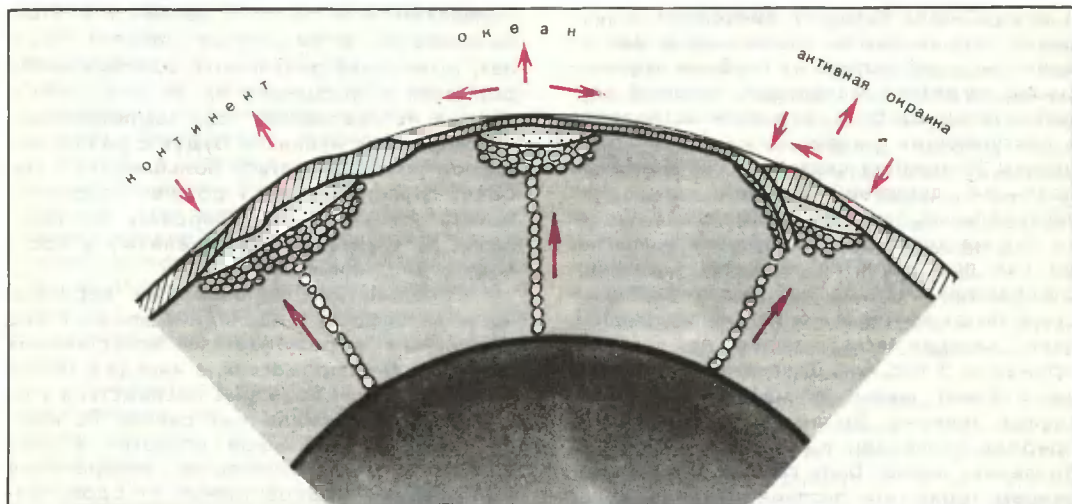
³ Бисноватый-Коган Г. С., Комберг Б. В. Квазары — загадка Вселенной. — Природа, 1968, № 6, с. 12.

части ширины пояса. Следовательно, понятие об узкой границе между плитами здесь явно теряет смысл.

Это лишь некоторые проблемы из тех, которые стоят перед рабочими группами 2 и 8 программы «Литосфера». Не менее интересные вопросы относятся к компетенции рабочей группы 5. Внутренние области литосферных плит занимают основную часть поверхности Земли. К ним; например, относится подавляющая часть территории СССР. Внутри плит происходят интенсивные движения земной

нескольких километров. В Западной же Сибири уже более ста миллионов лет происходит погружение коры, в процессе которого накопилось толща осадков мощностью в несколько километров. Физическая природа этих процессов остается мало понятной. Для ее выяснения необходимы, в частности, детальные геофизические исследования строения коры и мантии под областями восходящих и нисходящих движений внутри плит.

Программа «Литосфера» посвящена, в первую очередь, изучению континен-



Одна из возможных схем происхождения вертикальных и горизонтальных движений литосферы (показаны стрелками). Последовательно происходят следующие явления: дифференциация вещества на границе между ядром и мантией, поднятие легкого нагретого материала в астеносферу, вертикальные движения литосферы (поднятия и опускания), горизонтальные движения литосферы.

-  Земная кора
-  Аномальная мантия
-  Мантия
-  Легкий материал
-  Ядро

коры и часто проявляются магматические процессы. Так, огромная область в центре и на северо-востоке Евразии за последние несколько десятков миллионов лет оказалась сильно приподнятой. В результате здесь образовались горы высотой до

тальной литосферы. Однако, как показали исследования последних 10—15 лет, многие процессы в континентальной и океанической литосфере тесно связаны. Поэтому не удивительно, что на континентах в складчатых поясах находят блоки океанической коры — океанические офиолиты, попавшие сюда при сжатии литосферы. Да и само сжатие на континентах объясняется образованием новой океанической коры на расширяющихся срединных хребтах, расположенных на дне океанов. Вулканизм в ряде континентальных областей связывается с погружением под них океанической литосферы в зонах субдукции. В связи с этим условия образования и эволюции океанической литосферы представляются большой интерес и для понимания динамики континентальной литосферы. Изучением океанической литосферы будет заниматься рабочая группа 6.

В осадочном чехле океанов и континентов заключена информация об эволюции их палеосреды. По характеру осадков и содержащимся в них остаткам расте-

ний и животных можно сделать ряд важных заключений о климате, существовавшем в различных областях Земли в геологическом прошлом, о химическом составе океана и атмосферы, о почвенных процессах. Более того, изучение развития палеосреды поможет лучше понять, как каким изменениям в состоянии окружающей среды может привести в будущем деятельность человека. Этими проблемами предстоит заниматься рабочей группе 7 программы «Литосфера».

Образование и развитие земной коры и литосферы связаны, в конечном итоге, с процессами, которые протекают в глубоких недрах Земли. Конвекция в мантии приносит к литосфере из глубины крупные массы нагретого материала, который служит источником большого количества тепла и поступающих в кору магматических расплавов. Конвекция служит также основной причиной движений земной коры, как вертикальных, так и горизонтальных. Однако форма конвективных течений в мантии до сих пор остается неясной. Одни исследователи считают, что под литосферой существуют крупные конвективные ячейки, охватывающие всю мантию до глубины примерно 3 тыс. км. Другие предполагают значительно меньшие масштабы конвективных течений. Более того, физическая природа конвекции в мантии еще неясна. Конвекция может быть связана как с выделением тепла при распаде радиоактивных веществ, так и с перераспределением вещества в Земле в процессе ее химической дифференциации. Для решения этих вопросов необходимы глубокие теоретические исследования и новые фактические данные о внутреннем строении Земли.

Для правильного понимания эволюции литосферы необходимо иметь также надежную информацию о составе земных недр, о свойствах их вещества, температурном режиме мантии и о происходящих в ней химических процессах. Здесь большую помощь оказывают эксперименты в области высоких давлений и температур в сочетании с теоретическим анализом. Координация международных исследований в этих направлениях будет проводиться рабочей группой 9.

Несмотря на то что исследования в области фундаментальных наук о Земле еще очень далеки от завершения, они уже сейчас много дают для развития прикладных наук. В свою очередь, в прикладных исследованиях накоплено много информации, которая с успехом может

быть использована представителями фундаментальной науки. В ряде координационных комитетов программы «Литосфера» специалисты, принадлежащие в эти дни двум областям, будут работать вместе. Это должно стимулировать развитие как фундаментального, так и прикладного направлений в науках о Земле.

К числу важнейших подразделений программы относятся его комитеты 1 и 2. Комитет 1 будет заниматься исследованием стихийных бедствий и последствий вредного воздействия человека на окружающую среду. Задача комитета — использовать все то, что делается в этом направлении в различных рабочих группах, объединяя результаты, одновременно дополняя и расширяя их за счет собственных исследований. Так, землетрясения и извержения вулканов будут с различных сторон рассматриваться большинством рабочих групп. Комитет 1 должен координировать усилия и стимулировать исследования по физическому механизму и прогнозу этих стихийных бедствий.

Воздействие человека на верхнюю часть литосферы в последнее время стало сравнимым с результатами естественных геологических процессов, а иногда и более значительным. Серьезные последствия этого воздействия видны уже сейчас. Во многих странах с большой остротой встают проблемы разрушения почвы, захоронения химических и радиоактивных отходов, техногенных землетрясений и другие. Многие явления, связанные с воздействием человека на литосферу, носят необратимый характер. Для рационального использования окружающей среды и ее надежной охраны надо научиться прогнозировать такие явления. Это, в свою очередь, требует более глубокого понимания сложного взаимодействия верхней части литосферы, гидросферы, атмосферы и биосферы.

В современном обществе быстро возрастает потребление минеральных и энергетических ресурсов. Однако многие их источники, особенно расположенные вблизи поверхности, уже истощены. Большую помощь в оценке запасов невозобновляемого минерального сырья, а также в определении закономерностей размещения месторождений оказывают фундаментальные науки. Например, зная механизмы образования различных типов осадочных бассейнов, значительно легче оценить их перспективную нефтегазоносность и наиболее вероятное размещение место-

рождений. Многие месторождения твердых полезных ископаемых связаны с определенными типами магматических тел. А они, в свою очередь, образуются благодаря определенным видам тектонических движений литосферы. Более подробное изучение соотношений между тектоникой, магматизмом и металлогенией будет способствовать выявлению новых районов, перспективных для поиска месторождений. Заниматься организацией международных исследований в этих направлениях предстоит комитету 2.

Для поиска полезных ископаемых, а также для выявления глубинных причин развития литосферы чрезвычайно важны исследования в области эволюции магматизма и метаморфизма в истории Земли. Они находятся в ведении комитета 4 программы «Литосфера». Магматизм и метаморфизм, в основном, определяют эволюцию вещественного состава литосферы. Развитие этих процессов во времени отражает изменение геохимических и термодинамических условий в глубоких недрах Земли. Поэтому деятельность комитета 4 позволит значительно лучше понять, как происходила во времени эволюция мантии Земли.

Следует отметить, что само понятие «литосфера» не является еще вполне определенным. Литосферный слой с высокой вязкостью располагается на астеносфере, где вязкость сильно понижена. Однако ученые еще не пришли к единому мнению, на какой глубине следует проводить границу между литосферой и астеносферой и какое значение вязкости пород отвечает этой границе. Вязкость вещества в литосфере и астеносфере и особенно изменение этой величины с глубиной также остается плохо известной.

Мощность литосферы в различных областях Земли определяется косвенными методами — по распространению упругих волн и электромагнитных колебаний, по распределению глубокофокусных землетрясений на активных окраинах континентов, по характеру деформаций литосферы под влиянием нагрузки на ее поверхность. Предстоит еще много сделать, чтобы выяснить, в какой мере эти методы, особенно первые три, характеризуют действительную мощность литосферы.

Динамика литосферы связана в конечном итоге с ее тепловым, химическим и механическим взаимодействием с астеносферным слоем. Поэтому очень важно знать, как связаны между собой в пространстве неоднородности литосферы и

астеносферы. Мощность литосферы на континентах, как уже говорилось, достигает ста, а возможно, и более километров. Нижняя граница астеносферы располагается на еще большей глубине — примерно 200—300 км. Поэтому изучение строения и состава этих слоев представляет большие трудности и осуществимо лишь косвенными методами. Все исследования, которые относятся к данной проблеме, будут координироваться комитетом 5.

Советские ученые активно участвовали в разработке Международной программы «Литосфера». Под руководством вице-президента АН СССР А. В. Сидоренко в настоящее время в нашей стране создается комитет по Международной программе «Литосфера». Работа в нем будет строиться на основе рабочих групп и координационных комитетов, соответствующих группам и комитетам международной программы. Советский комитет по программе «Литосфера» должен объединить в нашей стране усилия геологов, геофизиков, геохимиков и геодезистов для решения фундаментальных проблем наук о твердой Земле и использования результатов фундаментальных исследований для нужд народного хозяйства.

Здесь были перечислены только некоторые фундаментальные и прикладные проблемы, стоящие перед программой «Литосфера». Однако этого достаточно, чтобы показать, сколь крупной является эта новая международная научная организация. Одновременно видно, сколько еще предстоит сделать, чтобы довести науки о Земле до такого уровня, на котором находятся точные науки. Такая большая степень неразработанности связана, с одной стороны, с тем, что строение планеты чрезвычайно сложно. С другой стороны, в глубокие недра Земли нельзя проникнуть — их можно изучать только косвенными методами, что резко усложняет задачу. Можно надеяться, что осуществление программы «Литосфера» явится новым крупным шагом в изучении человеком своей планеты.

Опасны ли опыты с рекомбинантными ДНК

В. В. Вельков

Генетическая инженерия еще два года назад была в центре внимания научных кругов, прессы и широкой публики не столько в силу своих научных (первоначально весьма скромных) достижений, сколько по причинам другого рода: возник вопрос о ее предполагаемой опасности для человека и окружающей среды и об этической и биологической допустимости грубого вмешательства человека в законы природы.

Дебаты на эту тему достигли кульминации к середине 70-х годов, они имели своим источником не научные проблемы, а ситуации, возникающие при включении новых научных идей в общественное сознание и общественную практику. Неудивительно, что наиболее драматический характер общественная реакция на генетическую инженерию приобрела в США, в стране, где так резко выражены социальные противоречия, присутствие капиталистическим общественным структурам. Нельзя избавиться от впечатления, что шум, поднятый вокруг генетической инженерии, был вызван тем, что легче запретить какую-либо науку или ограничить ее развитие под флагом заботы о благополучии общества, чем устранить инфляцию, безработицу, социальное неравенство в том же обществе.

Сейчас бурная реакция на генетическую инженерию и в США и в других странах стихла. В значительной мере это зависело от того, что последние годы беспорно и отчетли-

во выяснились огромные прикладные возможности генетической инженерии в медицине, сельском хозяйстве и промышленности. В воздухе запахло выгодным бизнесом, большими прибылями, и это, судя по всему, быстро погасило разгоревшиеся страсти, грозившие истребить слабые ростки генетической инженерии. Сейчас, наоборот, пышно расцветают многочисленные фирмы, имеющие целью коммерческую эксплуатацию достижений генетической инженерии.

Первоначальные опасения, нужно признать, оказались преувеличенными и частью беспочвенными. Но это отнюдь не значит, что экспериментальные исследования и тем более промышленные процессы (основанные на технологиях генетической инженерии, могут быть оставлены без надлежащего контроля. В Советском Союзе с самого начала господствовала разумная, трезвая оценка положительных сторон и возможных опасностей генетической инженерии. Статья В. В. Велькова дает представление о взглядах на этот предмет.

Академик А. А. Баев, академик-секретарь Отделения биохимии, биофизики и химии физиологически активных соединений АН СССР, председатель Межведомственной комиссии по разработке «Правил безопасности работ с рекомбинантными ДНК».

В 1972 г. в Станфордском университете (США), в лаборатории П. Берга была сконструирована первая гибридная, или так называемая рекомбинантная, молекула ДНК, состоящая из генома бактериофага лямбда и генома вируса SV40. Как известно, бактериофаг лямбда развивается и может существовать в клетках кишечной палочки (*Escherichia coli*) — нормального обитателя микрофлоры кишечника человека, а обезьяний вирус SV40 в лабораторных условиях вызывает злокачественные опухоли у некоторых грызунов. И кишечная палочка, и вирус SV40 — классические лабораторные объекты.

С этого времени в научной периодике и в широкой прессе стран Запада разгоре-

лась острая полемика с участием ученых, политических и религиозных лидеров, представителей различных общественных организаций.

В 1974 г. в журнале «Science»¹ появилась статья «Потенциальные биологические опасности рекомбинантных ДНК лауреатов Нобелевской премии Д. Балтимора, Дж. Уотсона, будущих лауреатов Нобелевской премии П. Берга, Д. Натанса и ведущих специалистов в области рекомбинантных ДНК Г. Бойера, С. Козна, Р. Дэвиса, Д. Хогнесса, Р. Робина, И. Вейсмана и Н. Циндера.

А в 1975 г. на специально созданной

¹ Science, 1974, v. 185, p. 303.



Василий Васильевич Вельков, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник Института биохимии и физиологии микроорганизмов АН СССР (Пушкино-на-Оке), член Межведомственной комиссии по разработке «Правил безопасности работ с рекомбинантными ДНК». Занимается проблемами конструирования векторных молекул для закарриот.

конференции в Асиломаре (США) ведущие генетики США приняли решение временно запретить эксперименты по конструированию рекомбинантных ДНК, пока не будет выяснена реальная биологическая опасность опытов по конструированию рекомбинантных ДНК и не будут выработаны необходимые меры безопасности проведения таких экспериментов². И хотя запрет на опыты с рекомбинантными молекулами был снят уже через год, дискуссии продолжают и по сегодняшний день. В 1980 г. папа Иоанн-Павел II заявил: «...будущее человека и человеческого рода находится под угрозой, тяжелой угрозой, несмотря на самые благородные стремления ученых. Угроза вызвана тем, что выдающиеся результаты исследований и открытий, особенно в области естественных наук, использовались и продолжают использоваться для целей, не имеющих ничего общего с задачами науки, целей, направленных на разрушение и смерть. Это справедливо для генетического манипулирования и биологических экспериментов...»³

Многочисленные утверждения о биологической опасности опытов с рекомбинантными ДНК в основном сводятся к двум положениям:

свойства организмов, содержащих чужеродную генетическую информацию, принципиально непредсказуемы; не исключено, что такие организмы (в особенности микроорганизмы) могут приобрести свойства, вредные для окружающей среды и для здоровья человека. В частности, это может нарушить экологическое равновесие, привести к возникновению и распространению необычных заболеваний человека, животных и растений;

вмешательство человека в генетический аппарат живых существ аморально, так как может вызвать серьезные и неже-

лательные, с сегодняшней точки зрения, социальные и этические последствия.

Первую точку зрения обычно высказывают биологи и медики, вторую — преимущественно общественные и религиозные деятели, но иногда — и ученые. Так, выдающийся специалист в области химии нуклеиновых кислот Э. Чаргафф спрашивает: «Имеем ли мы право посягать необратимым образом на эволюционную мудрость миллионов лет для того, чтобы удовлетворить амбиции и любопытство нескольких ученых?»⁴

Довольно часто в высказываниях об опасности опытов с рекомбинантными ДНК проблемы чисто биологической опасности не отделяются от возможных социальных последствий развития генной инженерии, которые, в сущности, составляют предмет специальных разработок. В 1977 г. в Стэнфордском исследовательском институте (одном из старейших и авторитетнейших прогностических центров США) были разработаны долгосрочные социальные прогнозы. Социальные последствия генной инженерии (конкретный характер этих последствий не указывается) оказались на четвертом месте после «недоедания в развивающихся странах, вытеснения лиц пенсионного возраста из жизни общества и истребления лесов»⁵. При этом такие важные проблемы, как «необходимость ориентации на новые источники энергии и приближение конца века нефти», в иерархии грядущих проблем отодвинуты на последнее — 37-е и 38-е места, а вопросы, связанные с экологическим кризисом, стоят на 23-м месте.

Насколько же верны эти пессимистические предположения и прогнозы? Можно

² Science, 1975, v. 188, p. 991.

³ Science, 1980, v. 208, p. 1441.

⁴ Цит. по: Lear I. Recombinant DNA. The Untold Story. N. Y., 1978, p. 9.

⁵ США: экономика, политика, идеология, 1980, № 10, с. 65.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ТЕРМИНОЛОГИЯ

Рекомбинантная ДНК	— молекула дезоксирибонуклеиновой кислоты, полученная соединением <i>in vitro</i> (вне клетки) фрагментов ДНК, как природных, так и синтетических, и способная реплицироваться (самовоспроизводиться) в живой клетке.
Генная инженерия	— конструирование рекомбинантных ДНК с последующим введением их в живые клетки.
Векторы	— генетические структуры, полученные из ДНК бактериофагов, плазмид, вирусов животных, способные акцептировать чужеродные гены и обеспечивать их репликацию в клетках хозяина.
Хозяин	— клетки (или организм), в которые вносится вектор; система вектор-хозяин — совокупность определенной клетки и вектора в ней.
Физическая защита	— использование инженерных устройств и технического оборудования, предотвращающих распространение организмов с рекомбинантными ДНК во внешней среде.
Биологическая защита	— использование для конструирования рекомбинантных ДНК клеток-хозяев, способных стабильно существовать только в лабораторных условиях, и векторов, способных реплицироваться только в этих хозяевах.

ли экспериментально оценить биологическую опасность организмов с рекомбинантными ДНК и в соответствии с такой опасностью сформулировать более или менее адекватные правила техники безопасности работ с такими организмами?

В 1976 г., т. е. уже через год после конференции в Асиломаре, когда запрет в США на опыты с рекомбинантными ДНК был снят, Национальный институт здравоохранения США утвердил правила работы с рекомбинантными ДНК. Примерно в это же время (1978) в нашей стране Комиссия по рекомбинантным ДНК под председательством академика А. А. Баева разработала «Временные правила безопасности работ с рекомбинантными ДНК». Аналогичные правила были приняты в большинстве развитых стран. Этому предшествовали работы многочисленных комиссий по оценке опасности опытов с рекомбинантными ДНК, критика запрета на генную инженерию со стороны биологов и представителей промышленности, утверждавших, что такой

запрет пагубно отражается на развитии науки и промышленности⁶.

ПРИНЦИПЫ ПРАВИЛ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ С РЕКОМБИНАНТНЫМИ ДНК

Принятые в СССР правила безопасности работ с рекомбинантными ДНК устанавливают четыре уровня физической и два уровня биологической защиты.

Физическая защита. Первый уровень (Ф1), минимальный, предусматривает, что эксперименты можно проводить в лабораторных условиях, общепринятых для работы с микроорганизмами в научных, медицинских и учебных учреждениях. Набирать жидкости в пипетки следует только автоматически, в лаборатории нельзя пить, есть и хранить пищевые продукты (все эти требования, естественно, обязательны и для следующих уровней физической защиты).

Второй уровень (Ф2), низкий. Работать с живыми объектами можно только в боксах со стерильным ламинарным потоком воздуха, запрещается образование аэрозолей. Автоклав для стерилизации должен находиться в этом же здании.

Третий уровень (Ф3), средний. Внутри лаборатории с герметичными дверьми и окнами создается отрицательное давление (8—12 мм водяного столба), воздух из лаборатории поступает только после очистки на фильтрах, лаборатория должна иметь шлюз и свой автоклав. С организмами работают в боксах со стерильным ламинарным потоком воздуха. Жизнеспособные биологические объекты можно выносить только в герметичных неразбиваемых контейнерах. Персонал работает в халатах (завязки сзади), масках, шапочках, перчатках, специальной обуви.

Четвертый уровень (Ф4), высокий. Герметичная лаборатория с отрицательным давлением размещена или в отдельном здании или в отсеке, полностью изолированном от других помещений. Лаборатория должна иметь санпропускник с душем, устройства для обеззараживания воздуха до выхода его в атмосферу. Все биоматериалы и оборудование, бывшее в контакте с ними, удаляются из лаборатории через сквозной двухдверный автоклав. Персонал полностью изолирован от организмов с рекомбинантными ДНК, т. е. работает либо в герметичных боксах с перчатками, либо находится в полностью изо-

⁶ Баев А. А. — Вестник АН СССР, 1980, № 11, с. 74.

лирующих герметичных костюмах с положительным давлением воздуха.

Биологическая защита. Средняя защита (Б1) в качестве клеточ-хозяев разрешает работу с лабораторными штаммами микроорганизмов, которые в результате длительного культивирования в искусственных условиях утратили способность к эффективному существованию во внешней среде. Сюда относятся лабораторные штаммы *E. coli* K-12, аспорогенные штаммы *Bacillus subtilis*. В качестве векторов разрешены производные неконъюгативных⁷ плазмид (ColE1, pSC101), которые неспособны самопроизвольно передаваться из клеток в клетки, а также различные варианты бактериофага лямбда.

Высокая биологическая защита (Б2) допускает работу только со специально сконструированными мутантными штаммами с сильно пониженной жизнеспособностью, которая может поддерживаться только специальными лабораторными мерами.

Эксперименты с рекомбинантными ДНК классифицируют согласно степени их предполагаемой биологической опасности и на основании этого устанавливают необходимые комбинации различных уровней физической и биологической защиты. Вероятная опасность экспериментов с рекомбинантными ДНК зависит, в основном, от следующих факторов:

от происхождения ДНК, используемой для клонирования (ДНК патогенных организмов и патологически измененных тканей представляют наибольшую опасность);

от числа независимых разных молекул рекомбинантных ДНК, получаемых в одном эксперименте; чем больше их число, тем, очевидно, выше риск возникновения потенциально опасного рекомбинанта.

Существует общая схема определения уровней физической и биологической защиты. Так, при клонировании ДНК из млекопитающих работа должна проводиться по типу Ф4+Б1 или Ф3+Б2, при клонировании любой эукариотной ДНК — по типу Ф3+Б1 или Ф2+Б2, прокариот — по типу Ф2+Б1. При клонировании генов вирусов меры защиты устанавливаются в каждом отдельном случае по решению комиссии.

Категорически запрещено использовать для получения рекомбинантных ДНК

препараты ДНК из патогенных для человека организмов, сельскохозяйственных животных и растений, относящихся к группам I, II и III существующей в СССР классификации. Запрещается также вводить в рекомбинантные ДНК гены, заведомо опасные для здоровья и благополучия человека, и вносить организмы с рекомбинантными ДНК в окружающую среду.

МОЖНО ЛИ ОЦЕНИТЬ РЕАЛЬНУЮ ОПАСНОСТЬ ОПЫТОВ С РЕКОМБИНАНТНЫМИ ДНК?

За последние годы проведено большое количество экспериментов по оценке реальной биологической опасности организмов с рекомбинантными ДНК. Экспериментально проверена вероятность каждого возможного случая биологической опасности.

Рассмотрим основные вопросы, поставленные исследователями в этих опытах. Самый первый из них — могут ли лабораторные штаммы *E. coli* K-12 проникнуть из геноинженерных лабораторий во внешнюю среду? Напомним, что при работе по уровню Ф1 должны выполняться два главных требования: во-первых, все биологические загрязнения следует немедленно уничтожать, и, во-вторых, можно пользоваться только автоматическими пипетками. Как известно, *E. coli* K-12 очень чувствительна к химической дезинфекции. В высохшей капле питательной среды с *E. coli* уже через 6 ч после высыхания не обнаруживается ни одной живой клетки. В лабораториях типа Ф1 во всем мире проводят микробиологическую диагностику многих известных патогенов, и нет никаких оснований полагать, что подобная многолетняя практика приведет к нежелательным последствиям. При работе по уровням Ф2 и Ф3 боксы с ламинарным потоком стерильного воздуха и отрицательное давление надежно предотвращают распространение инфекции воздушно-капельным путем, а лаборатории типа Ф4 обеспечивают максимально возможную защиту от высокоинфекционных агентов. Таким образом, при строгом соблюдении правил работы с рекомбинантными молекулами их выход в окружающую среду практически невозможен.

Исторически сложилось так, что основным живым организмом, в который вносят чужеродные гены, стала *E. coli* — нормальный и необходимый обитатель кишечника человека. Насколько разумно вводить чужеродные гены в такой объект?

⁷ Конъюгативные плазмиды несут гены, обеспечивающие перенос данной плазмиды в другие клетки.

Не приведет ли это к нежелательным последствиям? К сожалению, заменить *E. coli* на какой-либо другой микроорганизм практически невозможно, поскольку ни один другой живой объект не изучен так досконально с генетической и биохимической сторон. В ходе развития методов генной инженерии возник закономерный вопрос: не станут ли лабораторные штаммы *E. coli* опасными для человека и для его среды? Поскольку ответ на этот вопрос жизненно важен, он был исследован чрезвычайно тщательно. Была рассмотрена практически любая возможная ситуация, при которой *E. coli* могла бы стать опасным микроорганизмом.

Некоторые природные штаммы *E. coli* (кроме *E. coli* K-12) действительно могут вызывать заболевания у человека, но они не вызывают эпидемий путем передачи от человека к человеку. Для индукции заболеваний необходимо ввести через рот от 10^6 до 10^{11} клеток энтеропатогенного штамма. В естественных условиях такой случай возможен при пользовании очень загрязненными источниками пищи и воды. Штаммы *E. coli*, содержащие энтеротоксины, в развитых странах встречаются редко. Значит, даже если рекомбинантная ДНК и сообщает *E. coli* K-12 патогенность, практически невероятно, что такой штамм вызовет эпидемию.

Большое количество опытов с мышами, крысами, цыплятами свидетельствует, что даже при массивном введении клеток *E. coli* K-12 эти штаммы не колонизируют кишечник животных; так, только у одной из 144 подопытных мышей лабораторные штаммы *E. coli* K-12 сохранились в течение 7 дней. Однако у безмикробных мышей (гнотобионтов) наблюдалась эффективная имплантация лабораторных штаммов *E. coli* K-12. Многочисленные опыты показали, что *E. coli* K-12 не способна имплантироваться и в кишечнике человека. Так, у добровольцев, получивших по 10^{10} клеток штамма *E. coli* X 1776 (уровень B2), уже через 24 ч не было найдено ни одной введенной живой клетки. Тот же штамм, но с вектором pBR322 обнаруживался в течение 4 сут в количестве 6 живых бактерий на 10^6 введенных; для штамма X1666 (уровень B1) выживаемость была в 10 тыс. раз выше, чем у X1776, а присутствие pBR322 увеличивало срок жизни такого штамма на двое суток. Таким образом, колонизация кишечника человека штаммами *E. coli* K-12, соответствующими уровню биозащиты B1 и B2, не происходит.

Персонал, постоянно работающий

с *E. coli* K-12, устойчивой к налидиксовой кислоте (удобный генетический признак, позволяющий распознавать данный штамм) и содержащей конъюгативные R-плазмиды, в течение двух лет каждые 2—3 дня проверяли на состав микрофлоры кишечника и ни разу во флоре ни эти штаммы, ни R-плазмиды в природных штаммах не были обнаружены. Поскольку люди работали без специальных предосторожностей, ясно, что риск заражения лабораторными штаммами *E. coli* — минимальный. В другой группе опытов в трех разных городах (12 мес. в Лондоне, 36 мес. в Бристолле, 12 мес. в Сизтле) были детально обследованы 64 человека, постоянно имеющих дело с *E. coli* K-12. И никаких следов лабораторных штаммов ни у них, ни у членов их семей найдено не было.

Следующий вопрос, решение которого потребовало специальных экспериментов, заключался в том, насколько способны штаммы с рекомбинантными ДНК выжить в окружающей среде или передать эту ДНК другим организмам?

В лабораторных условиях клетки *E. coli* K-12, содержащие рекомбинантные ДНК из африканской шпорцевой лягушки, тутового шелкопряда и дрозофилы, смешивали с исходными клетками *E. coli*. Оказалось, что при совместном культивировании в каждом отдельном случае клетки с рекомбинантными ДНК значительно отстают в росте. Более того, одна из практических проблем генной инженерии заключается, как известно, в нестабильности штаммов с рекомбинантными ДНК, поскольку эти штаммы весьма часто «теряют» рекомбинантные ДНК, и, чтобы обеспечить стабильность рекомбинантных клонов, необходимы специальные меры.

Как мы уже говорили, после введения добровольцам от 10^9 до 10^{10} клеток *E. coli* K-12 с конъюгативными R-плазмидами уже через 4 дня в кишечной флоре не было ни введенных штаммов, ни R-плазмид в нормально живущих штаммах микрофлоры. Аналогичные результаты получены и при введении векторных неконъюгативных плазмид, неспособных, в отличие от R-плазмид, передаваться в другие клетки. В кишечнике человека и теплокровных животных вероятность передачи векторной плазмиды в нормально живущие клетки *E. coli* составляет примерно 10^{-16} на каждую выжившую бактерию в один день. Антибиотики могут продлить срок существования в кишечнике лабораторных штаммов с R-плазмидами, несущими гены устойчивости к

антибиотикам (при этом R-плазмиды могут передаваться природным штаммам *E. coli*). Поэтому лицам, проходящим курс лечения антибиотиками, не рекомендуется работать с подобными штаммами. В качестве векторов используют и бактериофаги. Многочисленными опытами было установлено, что векторные бактериофаги, несущие специальные «ослабляющие» мутации, способны инфицировать только специальные лабораторные штаммы.

Итак, *E. coli* K-12, несущая чужеродные гены, не может стать опасной для человека и его среды. Вероятность того, что из *E. coli* K-12, как из ящика Пандоры, по миру распространятся «бесконтрольные гены» — крайне низка. Но существуют ли другие возможности выхода рекомбинантных ДНК из-под контроля экспериментатора?

Обнаружено, что *E. coli* с плазмидой, содержащей три копии генома обезьяньего вируса SV40, способна вызвать инфекцию культуры клеток почки африканской зеленой мартышки вирусом SV40. Клетки почек поглощают целые бактерии, а затем из вектора освобождается инфекционная вирусная ДНК. Частота такого переноса низка — т. е. $4 \cdot 10^9$ бактерий дают один инфекционный центр. Специальными методами можно повысить частоту переноса до одного инфекционного центра из 10^4 клеток *E. coli*. Аналогичные опыты с культурами клеток человека и мыши свидетельствуют, что перенос рекомбинантных ДНК из бактерий в клетки животных, очевидно, весьма распространенный феномен. Но возможно ли поглощение бактериальных клеток клетками организма человека? Имеются сведения, что только одна из 10^9 природных бактерий кишечного тракта попадает в брыжжечный лимфатический узел. Фагоцитированные и попавшие в лимфатические узлы бактерии, очевидно, поглощаются эвкарриотными клетками. Происходит ли при этом перенос рекомбинантных ДНК в клетки живого организма — неизвестно. Для лабораторных штаммов такую ситуацию можно считать практически невероятной.

Из сказанного ясно, что рекомбинантные ДНК не могут выйти из-под контроля генного инженера. Но насколько экспериментатор способен контролировать процесс их конструирования? Не могут ли в опытах образовываться такие «побочные» рекомбинантные ДНК, которые, оставшись неза-



Лаборатория для работы с рекомбинантными ДНК по высшему уровню физической защиты.

меченными, смогут затем дать вредный эффект?

Предполагаемая опасность экспериментов с рекомбинантными ДНК зависит от числа разных независимых молекул рекомбинантных ДНК, образующихся в одном эксперименте. Такие эксперименты типа *shotgun* (дробовик — англ.) могут, теоретически, давать примерно 10^{15} — 10^{17} молекул рекомбинантных ДНК в одном опыте. Специальными методами селекционируются только те клоны, которые содержат искомые рекомбинантные ДНК. Несмотря на то что к настоящему моменту опытов типа *shotgun* достаточно много, систематические оценки возможной патогенности отдельных клонов не проводились; но не сообщалось и о случайном обнаружении патогенности. Был поставлен, однако, специальный опыт, в котором мышатам вводили клетки *E. coli* K-12, содержащие рекомбинантные ДНК с фрагментами полного генома дрожжей (внутрибрюшинно и внутричерепально). Животных забивали, их мозг культивировали в бульоне и бульонную культуру через пять серийных пассажей вводили другой группе животных. Оказалось, что клонирование в *E. coli*

K-12 смеси фрагментов генома дрожжей не увеличивало вирулентность данного штамма.

Клонирование в *E. coli* K-12 генов, кодирующих полипептидные гормоны, имеет существенный научный и практический интерес. Сейчас уже строятся заводы по производству инсулина человека с помощью микробиологической ферментации *E. coli*, синтезирующей этот гормон. При этом кишечная палочка, содержащая инсулин, будет нарабатываться тоннами. Не опасно ли такое производство?

Высказывались опасения, что если *E. coli* K-12, активно продуцирующая биологически активный инсулин человека, попадет в организм, то она может вызвать серьезные эндокринные нарушения. Известно, что при клонировании гена инсулина человека *E. coli* K-12 вырабатывает около 1 тыс. молекул гормона на клетку. Всего же *E. coli* за одно деление продуцирует около 10^6 пептидов. Теоретически в виде проинсулина можно получить около 30% от всех пептидов, т. е. 5 мг проинсулина на 1 г клеток ($5 \cdot 10^{11}$ клеток). Чисто теоретически для природного (не лабораторного!) штамма, полностью колонизировавшего кишечник ($2 \cdot 10^9$ клеток), это может дать 25 мкг проинсулина, содержащего 0,5 ед. активности. Известно, что количества, в 10 раз большие, не изменяют концентрацию сахара в крови. Гормон роста человека в норме содержится в концентрации 1—2 нг/мл. В самом «оптимальном» случае *E. coli* сможет добавить к этому количеству 0,25 пг. В случае клонирования гена интерферона на 1 г клеток образуется 15 мг продукта. С другой стороны, уже 10 мкг интерферона физиологически активны, а в гипотетическом случае в кишечнике человека может быть синтезировано 75 мкг интерферона. Таким образом, те количества гормонов, которые сможет синтезировать *E. coli* при полной колонизации кишечника, не приведут к серьезным нарушениям здоровья человека. Однако при конструировании и использовании штаммов, активно продуцирующих пептиды с очень высокой удельной активностью, тем не менее следует применять соответствующие меры защиты.

А не опасно ли вообще вносить в *E. coli* активные гены белков человека? Есть ли гарантия, что такие синтезируемые бактерией белки не будут распознаваться нашей иммунной системой как чужие?

При аутоиммунных заболеваниях разрушительный потенциал иммунной системы направлен против собственных белков организма. Теоретически опасность могут представлять так называемые перекрестно реагирующие антигены. Такими антигенами могут быть продукты трансляции генов, часть которых представлена бактериальной генетической информацией (например, β -лактамаза или β -галактозидаза), а другая часть — геном белка человека. Не будет ли иммунная система вырабатывать к таким «гибридным слитным» белкам антитела, которые инактивируют и нормальный аналогичный белок человека? В природе существуют случаи перекрестного реагирования между бактериальными антигенами и антигенами млекопитающих. Так, например, аутоиммунное заболевание ревматизм вызывается стрептококками группы А. В случае гипотетической колонизации кишечника штаммом-суперпродуцентом возникновение аутоиммунного заболевания маловероятно, поскольку в клетках *E. coli* K-12 «несобственные» белки быстро разрушаются АТФ-зависимыми протеиназами, а в кишечном тракте пептиды расщепляются ферментом пепсином.

Известно, что некоторые гены из генома онкогенных вирусов или из ДНК злокачественных опухолей индуцируют в лабораторных условиях злокачественные новообразования. Сохраняют ли эти гены свою онкогенную активность после того, как они включены в состав вектора бактериальной клетки? В специальных экспериментах было показано, что ДНК плазмиды pBR322 с геном тимидинкиназы вируса герпеса эффективно трансформирует культуру клеток мыши, в результате чего образуются клетки, в которых активен ген тимидинкиназы вируса герпеса. Ген овалбумина цыпленка в векторе pBR322 работает в клетках мыши. Трансформирующие гены онкогенных вирусов SV40 и полиомы сохраняют свою онкогенную активность и в составе векторных молекул. То же самое обнаружено и для ретровирусов, и для клонированной ДНК интегрированного генома вируса лейкоза мышей АКР, и для клонированной ДНК вируса саркомы мышей Харви и т. д.

Специальный эксперимент был поставлен по проверке инфекционности клонированного генома вируса полиомы мышей *E. coli*. Оказалось, что после введения мышатам 10^9 клеток *E. coli* X1776 с клонированным геномом полиомы признаков инфекции у животных не обнаруживалось.

Такой же результат был получен после введения мышатам ДНК вектора, содержащего одну копию генома вируса полиомы, а также после введения внутрибрюшинно вирионов фага лямбда, содержащего одну копию генома полиомы. После введения новорожденным хомячкам 10^9 клеток *E. coli* X 1776 с клонированным геномом полиомы злокачественные опухоли не возникали. Препараты ДНК с вектором, содержащим одну копию генома вируса полиомы давали злокачественные опухоли у хомячков в 19% случаев. При аналогичном введении вирионов с двумя копиями клонированного генома полиомы обнаружена инфекционность на 10^7 более низкая, чем у вируса полиомы в аналогичных условиях. Все эти препараты, введенные через рот, никакой инфекции не давали. Таким образом, некоторую биологическую опасность можно усмотреть лишь при введении новорожденным хомячкам подкожно ДНК с вектором, содержащим клонированный геном полиомы, и при внутрибрюшинном введении массивованных доз бактериофага лямбда, содержащего две копии генов полиомы. Самопроизвольно такая ситуация произойти не может.

В целом, несмотря на то что в лабораторных условиях *in vitro* эвкарриотные гены, в частности гены онкогенных вирусов, сохраняют свою активность в составе прокариотных векторов, это не имеет биологической опасности *in vivo*.

До сих пор речь шла об активности чужеродных генов в составе прокариотных векторных молекул. Клонирование в эвкарриотных векторах имеет не только весьма существенный научный интерес (расшифровка генетических механизмов у высших животных), но большое практическое значение (разработка методов генной хирургии, исправление наследственных дефектов или направленная генетическая модификация). В качестве эвкарриотных векторов используют вирусы животных и человека, у которых часть генома (не жизненно важная) замещается чужеродными генами. Сохраняется ли активность эвкарриотных генов в составе эвкарриотных векторов?

Опыты свидетельствуют, что такая активность сохраняется. Чужеродный эвкарриотный ген может быть активным как за счет регуляторной системы вектора, так и за счет собственной системы регуляции. Так, в клетках почки обезьяны наблюдается

появление β -глобина кролика, ген которого клонирован в дефектном эвкарриотном вирусе SV40. «Мозаичное» строение эвкарриотных генов не препятствует их работе в гетерологических клетках. Ген β -глобина кролика, содержащий собственный промотор и интроны, активен в клетках почки обезьяны (вектор — дефектный вирус SV40). Таким образом, эвкарриотный ген, встроенный в векторную молекулу, сконструированную на основе вируса животных, может быть активен. В целях биологической безопасности следует в качестве векторных молекул использовать только дефектные вирусы, неспособные к размножению в природных условиях.

Клонирование ДНК в эвкарриотных микроорганизмах, для которых разработаны методы генетики и биохимии, перспективно для решения многих научных проблем. Особенно перспективны в этом отношении дрожжи, в частности пекарские (*Saccharomyces cerevisiae*), которые принадлежат к эвкарриотам, и в тоже время к ним приложимы мощные методы генетики микроорганизмов. То же можно сказать и о классическом объекте генетики — грибе нейроспоре (*Neurospora crassa*). В некоторых странах уже разработаны правила работ с этими организмами и получены первые научные и практические результаты. Дрожжи — промышленный микроорганизм, их производство достигает миллионов тонн в год. Введение в дрожжевые клетки генов, кодирующих, например, белки мышц (актин, миозин) или куриного яйца (овальбумин), может существенно повысить их белковые качества. Сообщается о синтезе в дрожжах интерферона человека. В целом лабораторные и промышленные штаммы дрожжей, нейроспор и бактерий *Streptomyces* по своим экологическим характеристикам не представляют опасности для человека и среды его обитания.

Теоретически попадание во внешнюю среду природных микроорганизмов, содержащих рекомбинантные ДНК, может представлять биологическую опасность. Однако конкретной информации о стабильности и жизнеспособности во внешней среде природных штаммов с чужими генами нет, потому что подобные опыты запрещены. И хотя умозрительно можно считать, что такие штаммы будут вытеснены природными микроорганизмами, отсутствие фактов может привести к тому, что эта проблема будет дискутироваться доста-

точно долго и с разной степенью логической и эмоциональной мотивации. Необходимость клонирования в природных штаммах уже поставлена практикой методов микробиологической очистки окружающей среды, практикой борьбы с вредителями сельского хозяйства. Применение генной инженерии может оказаться перспективным и для оптимизации микробиологических процессов в почве и в водоемах. С помощью клонирования, например, в метансинтезирующих или метаноокисляющих микроорганизмах можно существенно улучшить технологии, связанные с получением источников энергии. Перспективны разработки в области генной инженерии фотосинтезирующих бактерий.

В целом клонирование в природных штаммах является весьма целесообразным и необходимым как с научной, так и с практической точек зрения.

Клонирование ДНК из патогенных источников представляет наибольшую биологическую опасность, особенно в свете многочисленных данных о возможной активности прокариотных генов в гетерологических прокариотных клетках. Однако совершенно очевидно, что методы генной инженерии весьма перспективны для изучения молекулярных механизмов патогенеза и инфекционности. Уже получены фундаментальные результаты о молекулярных механизмах возникновения некоторых форм злокачественных опухолей. Дальнейший прогресс в этой области связывается в основном с применением техники рекомбинантных ДНК. Другой аспект необходимости клонирования ДНК из патогенных организмов — это эффективность, экономическая выгода и безопасность производства вакцин против возбудителей инфекций. Например, ген, определяющий синтез белка оболочки вируса гепатита В, с помощью вектора переносят в бактериальную клетку, которая затем синтезирует этот белок. Такой штамм, следовательно, продуцирует белок, который можно использовать для вакцинации против инфекционного гепатита В, сам же штамм заболевания вызвать не может. В ряде стран уже достигнуты определенные успехи в получении геноинженерным методом вакцин против гепатита В, гриппа, ящура. В общем, клонирование ДНК из патогенных организмов и патологически измененных клеток весьма актуально и перспективно. Такие опыты следует проводить с соблюдением мер необходимой защиты.

Таким образом, в результате много-

численных опытов по выяснению возможной опасности экспериментов по генной инженерии, можно сделать два основных вывода:

во-первых, утечка во внешнюю среду лабораторных штаммов микроорганизмов, содержащих рекомбинантные ДНК, и их стабильное там существование и передача клонированных генов в другие объекты — маловероятны;

во-вторых, самопроизвольное образование патогенного организма из лабораторных непатогенных штаммов при клонировании в нем генов из непатогенных источников — сомнительно.

Исходя из современного уровня знаний, теоретически наиболее опасны могут быть следующие эксперименты:

конструирование штаммов, сверхпродуцирующих физиологически активные пептиды с очень высокой активностью; опыты с эукариотными векторами, способными размножаться вне лабораторных объектов;

опыты, в результате которых в клетках могут индуцироваться и попасть во внешнюю среду инфекционные агенты; клонирование ДНК в природно живущих (не лабораторных) организмах; клонирование ДНК из патогенных источников.

Анализируя проблему в целом, следует признать, что первоначальные оценки возможной опасности генной инженерии были завышены. Сегодня многие из тех, кто впервые выступил с заявлением о потенциальной биологической опасности рекомбинантных ДНК, изменили свою точку зрения. И хотя, как показали и время, и опыт, ранние предположения об опасности генной инженерии были действительно преувеличены, современный уровень представлений о рекомбинантных ДНК отнюдь не дает повода для их конструирования в условиях неконтролируемого оптимизма. Что же касается социальных и этических последствий генной инженерии, то в данный момент несомненно одно: конструирование и применение рекомбинантных ДНК должно проводиться только для блага человека.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Бавв А. А. СОВРЕМЕННАЯ БИОЛОГИЯ КАК СОЦИАЛЬНОЕ ЯВЛЕНИЕ. — Вопросы философии, 1981, № 3.

Уильямсон Б. БУДУЩЕЕ ГЕННОЙ ИНЖЕНЕРИИ. — Мир науки, 1980, № 4.

Шницев О. В. ПРОБЛЕМЫ РИСКА ПРИ ГЕНОИНЖЕНЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ. — Вестник АМН СССР, 1981, № 2.

История культуры

Б. Варга, Ю. Димень, Э. Лепарниц. ЯЗЫК, МУЗЫКА, МАТЕМАТИКА. Пер. с венгерского Ю. А. Данилова. М.: Мир, 1981, 248 с. ц. 1 р. 40 к.

Книга возникла из серии радиопередач под аналогичным названием, которые ее авторы — математик, музыкант, литератор — вели по будапештскому радио для детей 12—14 лет. Необычная по форме и содержанию, красочно оформленная, книга адресована широкому кругу читателей, желающих поразмыслить над проблемами общего и специфического в различных областях человеческого знания. Авторы показывают, что единое восприятие мира, казалось бы, безнадежно утраченное с возникновением узкоспециализированных областей науки и искусства, в действительности обрело лишь вторую форму: за внешним различием кроются тождественные структуры и понятия.

Книга основывается на богатейших традициях венгерской культуры; подавляющее большинство явлений языка и музыки авторы демонстрируют на бережно подобранных примерах из венгерского фольклора и поэзии. Это открывает перед читателем почти уникальную возможность постигнуть красоту и образный строй чужого языка, а также подталкивает искать параллели и аналогии в языке, поэзии и культуре своего народа.

Призывая читателя к соучастию в раскрытии удивительных связей и зависимостей в языке, музыке и математике, авторы пишут в предисловии: «Читатель может придумывать новые математические головоломки, сочинять свои собственные стихи и мелодии — нужна лишь его готовность принять в этом участие. А мы, со своей стороны, гарантируем ему ни с чем не сравнимую радость открытий, радость творчества».

История науки

Г. П. Матвиевская. РАМУС. 1515—1572. М.: Наука, Научно-биограф. сер., 1981, 149 с., ц. 50 к.

В судьбе и творчестве Петра Рамуса, ученого-гуманиста, философа и педагога, выразилась вся сложность и противоречивость французского Возрождения. Получивший традиционное схоластическое образование, досконально изучивший дисциплины обязательного «триуума» и «квадриуума», Рамус сумел подняться над догматизмом позднесредневекового мышления. Одним из первых он выдвинул дерзкий по тем временам тезис: «Что бы ни сказал Аристотель, — ложно». При этом подразумевалось не отрицание учения Аристотеля, а отрицание отношения к нему, как к символу высшей, недосягаемой премудрости. В требовании Рамуса отказать от мертвых схем «схоластической науки», в его борьбе за практическую применимость научных теорий автор книги видит предвестие победы эмпирического метода, входившего в науку XVI века.

Рассказано также о подвизнической педагогической деятельности Рамуса, о его предложении по усовершенствованию университетского курса, которые сводились к замене многочасовых схоластических диспутов максимально практическим освоением наук. Для медиков — в клинике, для теологов — в чтении оригинальных древних текстов, для слушателей факультета искусств — в практике сочинительства.

В книге воссоздана атмосфера бурных исторических событий, сотрясавших Францию, показано состояние тогдашней науки, влияние «рамизма» на последующее ее развитие. Приведен полный список трудов Рамуса, а также библиография исследований на 5 европейских языках.

Философия естествознания

Д. Чаттопадхья. ЖИВОЕ И МЕРТВОЕ В ИНДИЙСКОЙ ФИЛОСОФИИ. Общ. ред. Н. П. Анниковеа, послесл. Н. П. Анниковеа и Е. М. Анниковеой. Пер. с англ. М.: Прогресс, 1981, 415 с., ц. 1 р. 70 к.

Книга крупнейшего философа-марксиста современной Индии задумана как исследование индийской философской традиции с точки зрения насущных проблем нынешней философии, каковыми являются секуляризм и ориентация на науку. В ней добросовестно, по источникам, воспроизведена сущность важнейших религиозно-философских систем (Йоги, веданты, буддизма), представляющих собой уникальное явление в истории мысли в силу трехтысячелетней древности, преемственности и отсутствия внешних воздействий, что делает эти системы представительными для Востока в целом.

Особое внимание автора уделено принципу пракрити (природы, материи) в философской системе синкхья и основным теориям ее строения (учению об атомах, о первоэлементах мира). Мир духовных явлений объявляется синкхья производным от этих начал. Такая точка зрения направлена против индуистских или буддистских представлений, согласно которым все существующее во внешнем мире — лишь иллюзия, а высшей реальностью обладает духовный абсолют (в котором растворяются все индивидуальные Я), постигаемый при помощи высшего знания в состоянии нирваны (мистической интуиции).

Автор критикует главные концепции религиозной философии Индии: кармы (воздаяние человеку в настоящей жизни за совершенные им в прошлой жизни поступки), сансары (перерождение в ином воплощении после смерти) и мокши (освобождение от этого перерождения).

Палеогеохимия ландшафтов

А. И. Перельман



Александр Ильич Перельман, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР. Основные работы посвящены теоретическим вопросам геохимии гипергенных процессов, геохимии ландшафтов и геохимическим методам поисков рудных месторождений. Автор более двухсот статей и книг, в том числе: *Очерки геохимии ландшафта*. М., 1955; *Геохимия эпигенетических процессов (зона гипергенеза)*. Изд. 3-е. М., 1968; *Геохимия элементов в зоне гипергенеза*. М., 1972; *Геохимия ландшафта*. Изд. 3-е. М., 1975; *Геохимия*. М., 1979.

Науки о Земле накопили огромный фактический материал о необратимом и прогрессивном изменении лика нашей планеты за время ее геологической истории. Это изменение было направлено в сторону увеличения разнообразия и сложности природы, уменьшения энтропии многих систем земной коры.

В наибольшей степени прогрессивность развития сказалась в эволюции живых организмов: водоросли → покрытосеменные, одноклеточные животные → млекопитающие. Росло и число видов. Ныне оно измеряется миллионами (только у насекомых установлено свыше 1 млн видов). Эти числа особенно впечатляют, если вспомнить, что в «неживой природе» разнообразие на несколько порядков меньше; например, число видов минералов не превышает 10 тыс.

Разнообразнее становились и биокосные системы — почвы, илы, ландшафты, моря, биосфера в целом. Продукты былых биосфер — залежи угля, известняка, каменной соли и других осадочных полезных ископаемых также становились разнообразнее, а количество их возрастало (например, в докембрии не существовало месторождений угля и солей).

Для увеличения сложности, разнообразия, уменьшения энтропии, т. е. для прогрессивного развития, необходима энергия.

Главным ее источником в биосфере служило и служит Солнце, излучение которого приводит в движение различные «механизмы биосферы» (круговорот воды, биологический круговорот атомов и т. д.).

Наибольшим разнообразием и сложностью природы отличается земная поверхность, а точнее, ландшафты суши, где литосфера соприкасается с атмосферой и гидросферой. Именно здесь на основе биологического круговорота атомов и круговорота воды солнечная энергия превращается в энергию геохимических процессов.

Разнообразие ландшафтов исключительно. Достаточно небольшого изменения рельефа, смены состава горных пород, чтобы изменились и растительность, и животный мир, и почвы, и водообмен, т. е. ландшафт в целом. Богатство ландшафтных форм станет особенно наглядным, если сравнить его со значительно более однообразным Мировым океаном и еще более однородными земными глубинами.

Для познания законов, которым подчиняется эволюция нашей планеты, а также для поисков полезных ископаемых и охраны окружающей среды необходимо знать особенности биосферы прошлых геологических эпох — природу былых морей, океанов, ландшафтов. Эти задачи решает палео-

география — наука, развивающаяся как в рамках геологии, так и географии.

Полеогеографы установили, что за время геологической истории неоднократно исчезали одни ландшафты и возникали другие. Так, исчезли красноцветные ландшафты, просуществовавшие на Земле не менее 1 млрд лет (они были еще в неогене), исчезла хвойно-гингковая тайга, широко распространенная в мезозое, «вымерли» тундростепи ледникового периода. Наряду с этим бывшие геологические эпохи не знали таких современных ландшафтов, как тундра, известная лишь с начала четвертичного периода, степи, известные с неогена.

Разнообразие бывших ландшафтов наглядно отражают палеогеографические и их разновидность — литолого-палеогеографические карты. На них изображено распределение суши и моря, гор и равнин, рек и озер. Показаны основные типы осадков, вулканы, характерные формы растительного и животного мира.

Литолого-палеогеографические карты составлены для отдельных геологических эпох, начиная с палеозоя¹. Помимо большого познавательного значения, подобная информация важна для поисков месторождений нефти, газа, угля, бокситов, фосфоритов и других полезных ископаемых.

ПАЛЕОГЕОХИМИЧЕСКИЙ ЛАНДШАФТНЫЙ АНАЛИЗ

При изучении ландшафтов в настоящее время используют не только географические, но и геохимические методы. Основоположником такого подхода был Б. Б. Полюнов, который синтезировал учение В. В. Докучаева о зонах природы с биогеохимией В. И. Вернадского и на этой основе создал новое научное направление — геохимию ландшафта, изучающую историю атомов в ландшафте.

Привлекают внимание и геохимические особенности ландшафтов прошлых геологических эпох, т. е. палеогеохимия ландшафтов².

Методы палеогеохимического ландшафтного анализа разнообразны. Большое значение имеет изучение геохимии ископаемых почв. Еще не так давно были известны лишь сравнительно молодые ископаемые почвы четвертичных отложений. Позднее в Средней Азии были открыты неогеновые ископаемые почвы, в Казахстане — неогеновые, палеогеновые и меловые, на Русской платформе — триасовые, пермские и каменноугольные, на Сибирской платформе — юрские и т. д. Известны ископаемые почвы и за рубежом.

Ценную информацию о геохимии бывших ландшафтов доставляет изучение древней коры выветривания. Начало этим исследованиям положили труды И. И. Гинзбурга, ныне они продолжают его многочисленными учениками и последователями. Важное значение имеет также изучение континентальных отложений прошлого. Его роль особенно возросла после блестящих исследований Н. М. Страхова. Наконец, перспективно геохимическое изучение ископаемых остатков флоры и фауны, которым занимается палеобиогеохимия. Это все прямые методы палеогеохимического ландшафтного анализа. Наряду с ними существуют и косвенные методы, основанные на выявлении корреляционных связей между физико-географическими и геохимическими особенностями ландшафта. Например, если палеогеограф устанавливает, что в прошлом в каком-то районе преобладал горный рельеф, геохимик делает вывод об энергичной водной миграции в этом районе, о малой минерализации вод, господстве в них окислительной среды, распространенности механической миграции. Аналогично, когда геологи доказали, что в начале юрского периода на огромных пространствах нынешнего Казахстана преобладали равнинный рельеф, влажный теплый климат и тропические леса из голосеменных деревьев, то геохимики были вправе сделать вывод о широком распространении в те далекие времена восстановительной глеевой среды в почвах и болотах, энергичном выветривании пород.

Применяя как прямые, так и косвенные источники, мы составили серию ландшафтных палеогеохимических карт для территории нашей страны. Здесь мы приводим одну из них, характеризующую теплую эпоху начала миоцена.

В палеогеохимических исследованиях автор использовал собственную геохимическую систематику ландшафтов, включаю-

¹ В 60-х годах завершилась грандиозная коллективная работа по составлению литолого-палеогеографических карт СССР. См.: Атлас литолого-палеогеографических карт СССР. Т. I—IV. Гл. ред. А. П. Виноградов. Гл. упр. геодезии и картографии Мин-ва геологии СССР. М., 1967.

² Основы этого научного направления заложили работы М. А. Глазковой, В. В. Добровольского, К. И. Лукашова, а также автора настоящей статьи. — Прим. ред.

Палеогеохимия ландшафтов

А. И. Перельман



Александр Ильич Перельман, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР. Основные работы посвящены теоретическим вопросам геохимии гипергенных процессов, геохимии ландшафтов и геохимическим методам поисков рудных месторождений. Автор более двухсот статей и книг, в том числе: *Очерки геохимии ландшафта*. М., 1955; *Геохимия эпигенетических процессов (зона гипергенеза)*. Изд. 3-е. М., 1968; *Геохимия элементов в зоне гипергенеза*. М., 1972; *Геохимия ландшафта*. Изд. 3-е. М., 1975; *Геохимия*. М., 1979.

Науки о Земле накопили огромный фактический материал о необратимом и прогрессивном изменении лика нашей планеты за время ее геологической истории. Это изменение было направлено в сторону увеличения разнообразия и сложности природы, уменьшения энтропии многих систем земной коры.

В наибольшей степени прогрессивность развития сказалась в эволюции живых организмов: водоросли → покрытосеменные, одноклеточные животные → млекопитающие. Росло и число видов. Ныне оно измеряется миллионами (только у насекомых установлено свыше 1 млн видов). Эти числа особенно впечатляют, если вспомнить, что в «неживой природе» разнообразие на несколько порядков меньше; например, число видов минералов не превышает 10 тыс.

Разнообразнее становились и биокосные системы — почвы, илы, ландшафты, моря, биосфера в целом. Продукты былых биосфер — залежи угля, известняка, каменной соли и других осадочных полезных ископаемых также становились разнообразнее, а количество их возрастало (например, в докембрии не существовало месторождений угля и солей).

Для увеличения сложности, разнообразия, уменьшения энтропии, т. е. для прогрессивного развития, необходима энергия.

Главным ее источником в биосфере служило и служит Солнце, излучение которого приводит в движение различные «механизмы биосферы» (круговорот воды, биологический круговорот атомов и т. д.).

Наибольшим разнообразием и сложностью природы отличается земная поверхность, а точнее, ландшафты суши, где литосфера соприкасается с атмосферой и гидросферой. Именно здесь на основе биологического круговорота атомов и круговорота воды солнечная энергия превращается в энергию геохимических процессов.

Разнообразие ландшафтов исключительно. Достаточно небольшого изменения рельефа, смены состава горных пород, чтобы изменились и растительность, и животный мир, и почвы, и водообмен, т. е. ландшафт в целом. Богатство ландшафтных форм станет особенно наглядным, если сравнить его со значительно более однообразным Мировым океаном и еще более однородными земными глубинами.

Для познания законов, которым подчиняется эволюция нашей планеты, а также для поисков полезных ископаемых и охраны окружающей среды необходимо знать особенности биосферы прошлых геологических эпох — природу былых морей, океанов, ландшафтов. Эти задачи решает палео-

география — наука, развивающаяся как в рамках геологии, так и географии.

Полеогеографы установили, что за время геологической истории неоднократно исчезали одни ландшафты и возникали другие. Так, исчезли красноцветные ландшафты, просуществовавшие на Земле не менее 1 млрд лет (они были еще в неогене), исчезла хвойно-гингковая тайга, широко распространенная в мезозое, «вымерли» тундростепи ледникового периода. Наряду с этим бывшие геологические эпохи не знали таких современных ландшафтов, как тундра, известная лишь с начала четвертичного периода, степи, известные с неогена.

Разнообразие бывших ландшафтов наглядно отражают палеогеографические и их разновидность — литолого-палеогеографические карты. На них изображено распределение суши и моря, гор и равнин, рек и озер. Показаны основные типы осадков, вулканы, характерные формы растительного и животного мира.

Литолого-палеогеографические карты составлены для отдельных геологических эпох, начиная с палеозоя¹. Помимо большого познавательного значения, подобная информация важна для поисков месторождений нефти, газа, угля, бокситов, фосфоритов и других полезных ископаемых.

ПАЛЕОГЕОХИМИЧЕСКИЙ ЛАНДШАФТНЫЙ АНАЛИЗ

При изучении ландшафтов в настоящее время используют не только географические, но и геохимические методы. Основоположником такого подхода был Б. Б. Полынов, который синтезировал учение В. В. Докучаева о зонах природы с биогеохимией В. И. Вернадского и на этой основе создал новое научное направление — геохимию ландшафта, изучающую историю атомов в ландшафте.

Привлекают внимание и геохимические особенности ландшафтов прошлых геологических эпох, т. е. палеогеохимия ландшафтов².

Методы палеогеохимического ландшафтного анализа разнообразны. Большое значение имеет изучение геохимии ископаемых почв. Еще не так давно были известны лишь сравнительно молодые ископаемые почвы четвертичных отложений. Позднее в Средней Азии были открыты неогеновые ископаемые почвы, в Казахстане — неогеновые, палеогеновые и меловые, на Русской платформе — триасовые, пермские и каменноугольные, на Сибирской платформе — юрские и т. д. Известны ископаемые почвы и за рубежом.

Ценную информацию о геохимии бывших ландшафтов доставляет изучение древней коры выветривания. Начало этим исследованиям положили труды И. И. Гинзбурга, ныне они продолжают его многочисленными учениками и последователями. Важное значение имеет также изучение континентальных отложений прошлого. Его роль особенно возросла после блестящих исследований Н. М. Страхова. Наконец, перспективно геохимическое изучение ископаемых остатков флоры и фауны, которым занимается палеобиогеохимия. Это все прямые методы палеогеохимического ландшафтного анализа. Наряду с ними существуют и косвенные методы, основанные на выявлении корреляционных связей между физико-географическими и геохимическими особенностями ландшафта. Например, если палеогеограф устанавливает, что в прошлом в каком-то районе преобладал горный рельеф, геохимик делает вывод об энергичной водной миграции в этом районе, о малой минерализации вод, господстве в них окислительной среды, распространенности механической миграции. Аналогично, когда геологи доказали, что в начале юрского периода на огромных пространствах нынешнего Казахстана преобладали равнинный рельеф, влажный теплый климат и тропические леса из голосеменных деревьев, то геохимики были вправе сделать вывод о широком распространении в те далекие времена восстановительной глеевой среды в почвах и болотах, энергичном выветривании пород.

Применяя как прямые, так и косвенные источники, мы составили серию ландшафтных палеогеохимических карт для территории нашей страны. Здесь мы приводим одну из них, характеризующую теплую эпоху начала миоцена.

В палеогеохимических исследованиях автор использовал собственную геохимическую систематику ландшафтов, включаю-

¹ В 60-х годах завершилась грандиозная коллективная работа по составлению литолого-палеогеографических карт СССР. См.: Атлас литолого-палеогеографических карт СССР. Т. I—IV. Гл. ред. А. П. Виноградов. Гл. упр. геодезии и картографии Мин-ва геологии СССР. М., 1967.

² Основы этого научного направления заложил работы М. А. Глазковой, В. В. Добровольского, К. И. Лукашова, а также автора настоящей статьи. — Прим. ред.

щую 7 таксонов: ряд, группу, тип, семейство, класс, род и вид. На палеогеохимических ландшафтных картах отражены лишь 3 из них: тип, класс и род. Типы геохимических ландшафтов выделяются по особенностям биологического круговорота атомов, т. е. процессов образования живого вещества и разложения органических веществ. Влажные тропики, тайга, тундра, саванны, черноземные степи — вот примеры различных типов ландшафтов. По геохимическим особенностям водной миграции элементов в почвах типы делятся на классы. Например, выделяются ландшафты кислого класса, для почв которых характерен водородный ион (H^+), кислого глеевого класса ($H^+ - Fe^{2+}$), кальциевого класса (Ca^{2+}) и т. д. Роды выделены по интенсивности водообмена, которая зависит в основном от рельефа.

ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ МИОЦЕНА

От начала миоцена нас отделяет 25 млн лет. Это было время широкого распространения теплых и влажных климатов, лесных ландшафтов. Арктика была свободна ото льдов, не было тундры, таежных ландшафтов, многолетней мерзлоты. Атмосфера была приблизительно втрое богаче CO_2 (0,1% против 0,03% в современную эпоху)³. Геохимические следствия такого, казалось бы, небольшого повышения содержания CO_2 в атмосфере могли быть весьма значительными. Это могло быть одной из причин потепления климата, так как CO_2 ослабляет тепловое излучение с земной поверхности («парниковый эффект»). Но CO_2 — это также важнейший продукт питания зеленых растений, которые в ходе фотосинтеза, в основном из CO_2 и H_2O , создают органические соединения. Поэтому высокая скорость роста растений в миоцене, вероятно, была обусловлена не только преобладанием теплого климата, но и лучшим воздушным питанием. Не исключено, что в водах содержание CO_2 (и его производного — иона HCO_3^-) также было повышено, а это благоприятствовало растворимости карбонатов, развитию карстовых процессов, увеличению кислотности вод, кислому выщелачиванию почв и кор выветривания.

Основная закономерность размещения ландшафтов в начале миоцена была та же, что и в современную эпоху; она подчинялась зональности, открытой В. В. Докучаевым в конце XIX столетия. Большую часть нашей страны занимала широкая зона влажных лесных ландшафтов с теплым умеренным климатом и субтропическими элементами во флоре. Даже в Восточной Сибири росли широколиственно-хвойные леса с магнолией, секвоей, лавром, таксодиумом. Только в наиболее северных районах, соответствующих современной прибрежной тундре, было не столь тепло, и там преобладали березово-хвойные леса, которые все же содержали примесь кипарисовых, таксодиевых и других субтропических растений. Южнее этой грандиозной лесной полосы, в Приморье и Приамурье, а также на Украине, по Нижнему Дону и низовьям Волги простирались леса влажных субтропиков. Они преобладали и на о-вах Кавказского архипелага.

Миоценовый рельеф был расчленен слабее современного, на большей части территории преобладали низменности и равнины. На Европейской части СССР это Мезенская, Северо-Русская, Приднепровская и прочие низменности. Восточнее располагалась грандиозная Западно-Сибирская низменность. Низменности были характерны и для многих районов Восточной Сибири (Ангарская, Лено-Вилуйская и др.). Альпийские тектонические поднятия еще только зарождались; например, Урал представлял собой холмистую возвышенность. На юге Сибири и на Дальнем Востоке уже поднимались настоящие горы — невысокие предки Алтая, Саян, Байкальского и других современных высоких хребтов с альпийским рельефом.

На формирование ландшафтов большое влияние оказывало геологическое строение, состав пород (особенно их карбонатность или бескарбонатность), вулканизм.

Западнее Енисея в начале миоцена преобладали лесисто-болотистые низменности с полноводными реками, широкими речными долинами, озерами. В геохимическом отношении эти ландшафты напоминают низменности современных влажных субтропиков и тропиков. Разложение большого количества растительных остатков давало много растворимых органических веществ гумусового типа, окрашивавших поверхности и грунтовые воды в цвет крепкого чая. Подобные «коричневые» и «черные» реки и озера ши-

³ Расчеты М. И. Будыко на основе анализа данных А. Б. Роннова о содержании органических веществ и карбонатов в толще осадочных пород. См.: Будыко М. И. Глобальная экология. М., 1977; Роннов А. Б. Осадочная оболочка Земли. М., 1980.

роко распространены и в современных лесисто-болотистых низменностях, что нашло отражение в их топонимике (многочисленные «черные» реки и озера — в Мещерской низине под Москвой, Рио Негро — в Бразилии). В таких водах легко мигрирует большинство химических элементов, образующих легкорастворимые органо-минеральные комплексы. Даже золото — этот благородный металл, нерастворимый в крепких минеральных кислотах, растворяется в водах, богатых растворимыми органическими веществами. Поэтому почвы и континентальные отложения подобных ландшафтов подвергались сильному выщелачиванию (т. е. теряли большинство подвижных элементов) и состояли почти целиком из труднорастворимых минералов, главным образом каолинита с примесью кварца. Выщелачивание железа приводило к тому, что местами отложения представляли почти чистыми кварцевыми песками и каолинами.

В болотах речных долин и озерных котловин накапливался торф, впоследствии преобразовавшийся в уголь. Миоценовые бурые угли известны в Белоруссии, Южном Предуралье (на территории Башкирии и Оренбургской области), на Сахалине. Еще шире было распространено углеобразование, не имеющее промышленного значения. Во многих речных отложениях миоцена («аллювиальных сероцветках») встречаются тонкие пропластки углей, углефицированные стволы деревьев и отдельные небольшие скопления органических веществ. И торф, и образовавшийся из него бурый уголь представляют собой хорошие сорбенты для многих металлов. Поэтому такие угольные скопления часто обогащены редкими элементами, для которых сорбция являлась единственным возможным механизмом концентрации⁴. Грунтовые воды подобных ландшафтов относились к глеевому классу, т. е. были восстановительными. Они были богаты растворимыми органическими веществами, соединениями железа и марганца. Все это позволяет отнести ландшафты лесисто-болотистых низменностей миоцена к кислому глеевому классу ($H^+—Fe^{2+}$).

В местах выхода грунтовых вод на земную поверхность, например в нижних частях склонов, на террасах и поймах рек, формировался кислородный геохимический барьер, на котором осаждались гидроокислы железа ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$). Таково про-

исхождение многих железистых конкреций и плит, именуемых во влажных тропиках латеритами.

Интересна палеобиогеохимия лесисто-болотистых низменностей миоцена. Фауна подобных ландшафтов в течение многих поколений существовала в условиях минерального голодания, так как и растительная пища, и воды были очень бедны многими важными биоэлементами (следствие кислого выщелачивания почв). Особенно характерен дефицит кальция, ограничивающий развитие скелета и способствующий уменьшению размеров животных. Дефицит фосфора, натрия, калия и других элементов сочетался с избытком кремния, железа, марганца и алюминия. В течение многих поколений животные пили «коричневую воду», богатую растворимыми органическими веществами, которая, как сейчас установлено, содержит витамины, гормоны, канцерогены и т. д. Столь своеобразные условия, вероятно, влияли на эволюционный процесс. В ландшафтах мог происходить отбор на химической основе, здесь были важные центры видообразования фауны и флоры. Организмы должны были приспособиться к минеральному голоданию, маломинерализованным водам, богатым органическими соединениями и местами относительно обогащенными Fe, Mn, Al, Si («железная», «марганцевая», «алюминиевая» и «кремнеземная» флора).

На возвышенностях и в горах, где болот было меньше, преобладали ландшафты с кислым классом водной миграции. Для таких ландшафтов было характерно кислое выщелачивание почв, малая минерализация вод. Растворимых органических веществ в водах было меньше, железо и марганец мигрировали слабее. Кислые лесные ландшафты преобладали на Балтийской возвышенности, Урале, Кавказе, в горах и на возвышенностях Южной Сибири и Дальнего Востока.

В Восточной Сибири, как и в настоящее время, были широко распространены породы, богатые кальцием — различные карбонатные породы и траппы (основные изверженные породы). В ландшафтах этих районов также развивалось кислое выщелачивание почв и континентальных отложений, но оно было слабее, ландшафт был богаче Ca. Такие ландшафты мы отнесли к переходному классу ($H^+—Ca^{2+}$). Организмы здесь лучше снабжались кальцием, эволюционный процесс, вероятно, протекал качественно по-иному, чем в кислых и кислых глеевых ландшафтах.

⁴ Юдович Я. Э. Геохимия ископаемых углей. Л., 1978.

В начале миоцена в Саянах, Забайкалье, на Сихотэ-Алине, Курилах был распространен континентальный вулканизм. Здесь изливалась базальтовая лава, горячие кислые источники давали начало сильноокислым ручьям и озерам. Геохимия таких сильноокислых ландшафтов (H^+ , SO_4^{2-} , Cl^-) отличалась от окружающих районов. Отличался, вероятно, и эволюционный процесс: здесь могли формироваться виды, приспособленные к очень кислым водам и высокому содержанию алюминия («квасцовая флора»).

Аридные ландшафты в миоцене занимали территорию нынешнего Казахстана и Средней Азии. Настоящих пустынь, вероятно, не было, отсутствовали и морозные зимы, ландшафт относился к типу субтропических степей и саванн. Информацию о геохимии этих ландшафтов мы получаем, изучая ископаемые миоценовые почвы и континентальные отложения. Миоценовые степи и саванны — это «геохимические антиподы» лесистоболотистых низменностей. Биомасса здесь была много ниже, растительные остатки быстро разлагались, в связи с чем во многих районах преобладала окислительная среда, воды практически не содержали растворимых органических веществ, в речных долинах и озерах накапливались красноцветные осадки, в междуречьях формировались почвы, аналогичные современным красно-бурому почвам саванн Африки. Воды были более минерализованными и щелочными по сравнению с лесными ландшафтами.

Для многих неогеновых красноцветных ландшафтов Средней Азии и Казахстана была характерна «содовая миграция» — содовые воды и почвы. Это позволяет предполагать существование в то время своеобразной «содовой» флоры и фауны, приспособленных к высокой щелочности среды, повышенному содержанию натрия и редких элементов, особенно хорошо мигрирующих в содовых водах (лития, бора, иттрия, скандия, циркония и др.). В Каракумах мы обнаружили ископаемые неогеновые солонцы сиреневого цвета, в которых происходил синтез минерала палыгорскита («палыгорскитовые солонцы»). Это вымершие почвы. Для подобных ландшафтов местами также была характерна миграция марганца, но железо в щелочной среде оставалось неподвижным, и организмам, возможно, не хватало этого металла. Содовые ландшафты миоцена — особые центры видообразования.

На низменностях Казахстана были широко распространены процессы хлоридно-сульфатного засоления и огипсования почв (зеленые огипсованные глины аральской свиты).

ЭПОХА МАКСИМАЛЬНОГО ОЛЕДЕНЕНИЯ

В эту эпоху, начавшуюся около 200 тыс. лет назад, мощные ледниковые покровы распространялись почти до района Днепропетровска и Волгограда. На Кавказе, Тянь-Шане, Памире, Алтае, в Саянах и других горных системах также было развито мощное оледенение. Содержание CO_2 в атмосфере по сравнению с миоценом понизилось, палеогеография изменилась коренным образом. Широко были распространены полярные пустыни, своеобразные тундростепи, неизвестные в современную эпоху, холодные приледниковые (перигляциальные) степи с многолетней мерзлотой, в которых шло накопление лессов и лессовидных отложений. Граница многолетней мерзлоты проходила южнее современной: реликты мерзлотных процессов в почвах неоднократно отмечались, например, в Центральном Казахстане. Автор наблюдал их в четвертичных отложениях района месторождения Жайрем, т. е. почти на широте оз. Балхаш. Сплошной таежной зоны в то время не существовало, тайга была оттеснена на крайний юг Забайкалья, в Приамурье и Приморье. Лесные ландшафты были на Кавказе, возвышенностях Центрального Казахстана, в горах Тянь-Шаня.

В Европейской части СССР южнее границы ледникового покрова происходило осаждение атмосферной пыли, которая сразу же вовлекалась в почвенные процессы. Так, в холодных мерзлотных тундростепях и перегляциальных степях шло формирование лессов, которые являются одновременно и золовыми осадками, и ископаемыми почвами. Частично лессовый мелкозем накапливался и на дне водоемов⁵. Не столь резкие изменения претерпевала в ледниковую эпоху природа равнин Южного Казахстана и Средней Азии. Здесь по-прежнему господствовали аридные ландшафты. Э. Мамедов показал, что в эпоху последнего оледенения, т. е. десятки тысяч лет назад, на равнинах Средней Азии господствовал холодный

⁵ Добродеев О. П. Ископаемые почвы — летопись природы. — Природа, 1972, № 10, с. 70.

и сухой климат (вопреки имевшимся ранее представлениям о плейстоценовой, т. е. влажной, эпохе). Возможно, что и в эпоху максимального оледенения в Средней Азии также было холодно и сухо.

Своеобразные природные условия эпохи максимального оледенения оказали глубокое влияние на геохимические особенности ландшафтов. Огромную роль играло широкое развитие многолетней мерзлоты и лессообразование. Палеогеохимический анализ ландшафтов ледникового периода во многом еще ждет исследователей — это одна из актуальных и увлекательных научных задач.

ДРЕВНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ

Важной геохимической характеристикой палеоландшафтов служат геохимические барьеры⁶. Это такие участки в ландшафте, где на коротком расстоянии резко уменьшается интенсивность миграции химических элементов и как следствие происходит их концентрация. На барьерах образуются рудные тела и залежи некоторых полезных ископаемых. С ними связаны многочисленные геохимические аномалии. Причины образования барьеров разнообразны: контакты пород разного состава, смена рельефа, выход глубинных вод на поверхность по зонам разломов и т. д. Но геохимическая сущность барьеров часто остается одной и той же. Автор разработал систематику геохимических барьеров, связанных с концентрацией химических элементов из вод. Основное значение в ней придается геохимической обстановке, приводящей к концентрации элементов. Так, для образования барьеров важно изменение окислительно-восстановительных условий в водах ландшафта. Если восстановительные условия резко сменяются окислительными (например, в месте выхода болотных вод на поверхность), то формируется **кислородный барьер**; обозначим его индексом А. При изменении состава в противоположном направлении возникают восстановительные барьеры, которые делятся на **сероводородные (В)** и **глеевые (С)**. При резком изменении щелочно-кислотных условий вод возникают **щелочные (D)** и **кислые (E)** барьеры. Установлены **испарительные (F)** **сорбционные (G)** и **термодинамические (H)** барьеры.

Концентрация элементов на барьерах зависит также от состава вод, поступающих к барьеру, среди которых мы выделили 12 классов и обозначили их арабскими цифрами. В результате каждый тип концентрации обозначается двузначным индексом, буквы которого характеризуют тип барьера, а числа — класс вод, поступающих к барьеру. Например, в саваннах миоцена были широко распространены испарительные барьеры (F). В зависимости от состава вод, поступающих к барьеру, на нем формировались аномалии вида F3 (нейтральные и слабощелочные воды), F4 (сильнощелочные содовые воды) и т. д. Для каждого вида аномалий характерны особые ассоциации микроэлементов: для F3 — стронция, молибдена и др., для F4 — молибдена, вольфрама, титана, иттрия и т. д. Иные типы аномалий были свойственны гумидным лесным ландшафтам миоцена: они формировались преимущественно на кислородных (A6) и глеевых (C6) барьерах.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

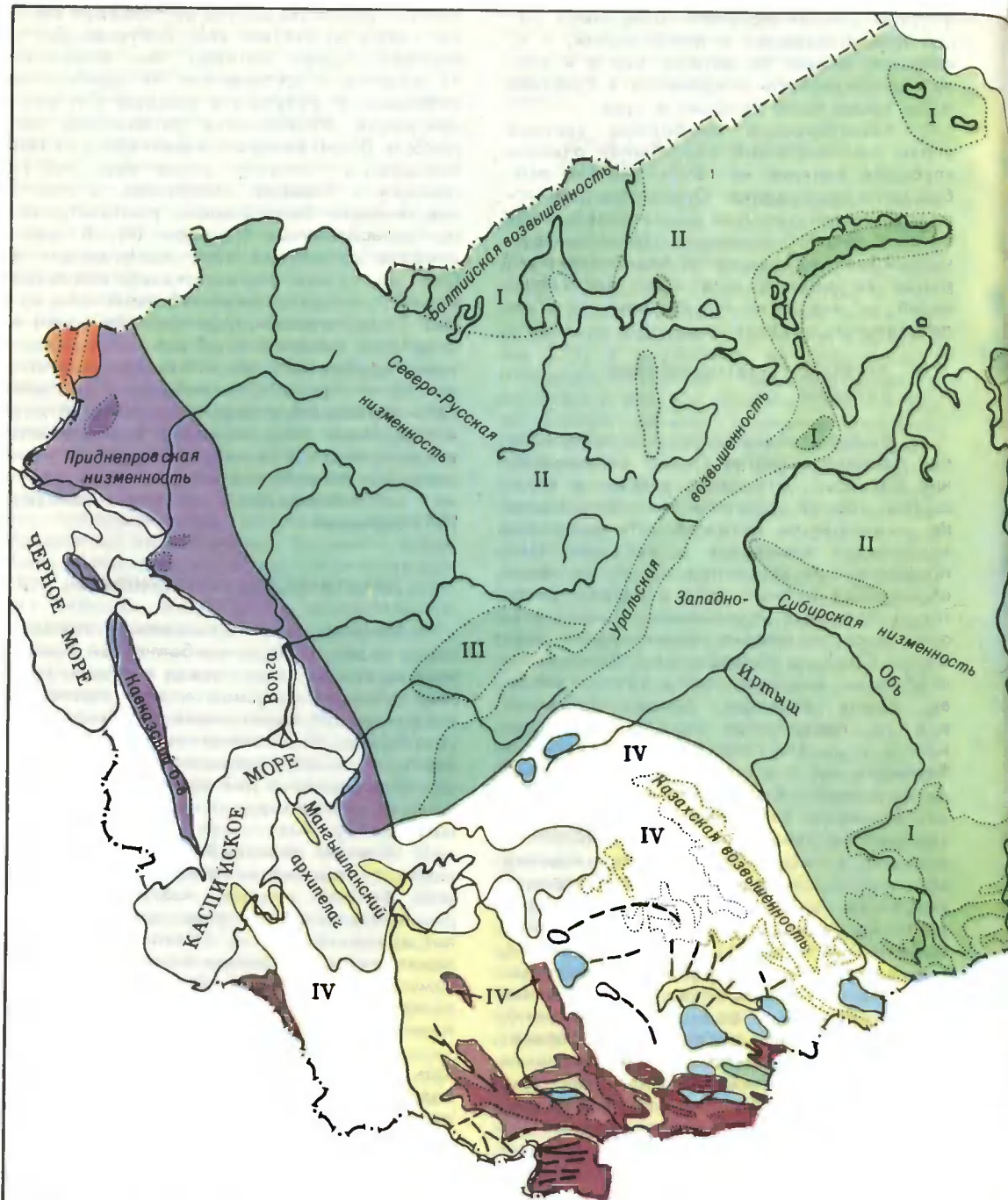
Вряд ли можно сомневаться, что изучение геохимических особенностей былых эпох не только внесет вклад в общую теорию геохимии ландшафта, но и приведет к расширению практического приложения этой науки. Уже сейчас четко выявилось значение палеогеохимических ландшафтных исследований для прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых.

Многие полезные ископаемые возникли в ландшафтах прошлого, например угли, бокситы, каолины, кварцевые пески, разнообразные соли, руды железа и редких элементов и т. д. Поэтому для выявления районов поисков важно знать геохимические условия образования месторождений, а эти вопросы во многом решает палеогеохимия ландшафтов.

Не менее важно определить, как искать месторождения, с помощью каких методов? Среди последних огромную роль приобрели геохимические методы, основанные на выявлении так называемых ореолов рассеяния, окружающих рудные тела⁷.

⁷ Барсуков В. Л., Григорян С. В., Овчинников Л. Н. Геохимические методы поисков рудных месторождений. М., 1981; Алексеенко В. А., Войткевич Г. В. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М., 1979.

⁶ Перельман А. И. Геохимические барьеры. — Природа, 1975, № 10, с. 54.







Палеогеохимическая ландшафтная карта эпохи начала миоцена. Римскими цифрами обозначены классы геохимических ландшафтов: I — кислый (H^+); II — кислый и кислый глиевоый (H^+ , $H^+ - Fe^{2+}$); III — кислый, переходный к кальциевому ($H^+ - Ca^{2+}$); IV — кальциево-натриевый, хлоридно-сульфатный, содо-

вый ($Ca^+ - Na^+$, $Na^+ - OH^-$, $Cl^- - SO_4^{2-}$); V — сернокислый, сернокислый ($H^+ - SO_4^{2-}$, Cl^-). Роды геохимических ландшафтов, выделяемые по интенсивности водообмена (медленный, средний, энергичный), показаны соответствующим нарастающим интенсивности окраски.



-  Гумидные субтропики
-  Гумидные умеренные ландшафты с субтропическими элементами во флоре
-  Семигумидные умеренные ландшафты с субтропическими элементами во флоре
-  Семигумидные и семиаридные субтропики
-  Субтропические лесостепи, саванны, степи

-  Границы вулканических областей
-  Древние речные долины
-  Пресные озера
-  Граница между типами геохимических ландшафтов

Рудные тела многих месторождений полезных ископаемых, а также их первичные ореолы рассеяния находятся в сфере действия ландшафтных факторов. Это может быть обусловлено тем, что само месторождение сформировалось в ландшафте, или же тем, что оно попало в ландшафт в результате горообразования, размыва и других геологических процессов.

В ландшафтах рудные тела и первичные ореолы подвергаются процессам разрушения. Рудные элементы и их спутники включаются в поверхностную миграцию, обогащают почвы, континентальные отложения, растения, воды, атмосферу. Так, вокруг рудных тел формируются вторичные ореолы рассеяния, радиус которых достигает сотен и тысяч метров. Поэтому, определяя индикаторный элемент в различных компонентах ландшафта — водах, растениях, атмосфере, можно обнаружить ореол рассеяния, а по нему и само месторождение. Но за миллионы лет, как мы убедились, ландшафты неоднократно менялись. Претерпевали изменения и ореолы — они деформировались, усиливались и ослабевали и т. д. Поэтому правильная оценка вторичных ореолов, отличие их от так называемых безрудных аномалий, возможны лишь на основе понимания истории развития ореолов, а для ее восстановления необходимо знание палеогеохимии ландшафтов.

Исследования в области палеогеохимии ландшафтов еще только начинаются. Можно не сомневаться, что дальнейшее их развитие не только внесет вклад в науку, но и откроет новые практические приложения.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Марков К. К. ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ. М., 1960.

Перельман А. И. ОЧЕРКИ ФИЛОСОФИИ НАУК О ЗЕМЛЕ. М., 1972.

Полынов Б. Б. ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ. М., 1956.

Страхов Н. М. ТИПЫ ЛИТОГЕНЕЗА И ИХ ЭВОЛЮЦИЯ В ИСТОРИИ ЗЕМЛИ. М., 1963.

ПРИРОДА

О границах Вселенной. Естествоиспытатели, стремящиеся охарактеризовать каждое явление природы числом и мерой, давно уже занимаются счислением звезд. Оба знаменитых Гершеля произвели первый грандиозный опыт исчисления звезд до 13-й и 14-й величины. Но более слабые звезды так многочисленны, что точный подсчет их потребовал бы, вероятно, сотни лет. ...Со времени применения в астрономии фотографии были получены новые методы такого рода счислений, дававшие, с одной стороны, большую надежность, с другой — и неизмеримо больший материал. Теперь различаются звезды до 19-й величины, которые увеличиваются в числе, по мере того как уменьшаются по величине. Подсчет звезд на фотографических снимках может производиться еще только суммарно, как обыкновенно подсчитываются под микроскопом кровяные тельца. Бельгийский астроном Стробиант, который до 1908 г. произвел вычисления 535 фотографических снимков, нашел таким образом 163 009 звезд до 13 1/2 и 11 1/2 величины. Особенно затруднительно счисление звезд в области Млечного пути, где звезды, меньшие 14-й величины, невероятно скудны.

Громадная работа по установлению числа и распределению звезд была выполнена в последние годы голландским астрономом проф. Каптейном. ...Он нашел, например, что, по современным данным, на один квадратный градус небесного свода приходится в среднем 20 400 звезд и что, следовательно, их общее число равно 842 млн. ...Каптейн установил, что границы доступного нашим чувствам звездного мира находятся от нас приблизительно на 32 000 световых лет, что соответствует 302 квадриллионам 746 миллионам километров (квадриллион изображается единицей с 24 нулями).

★

Энергия, получаемая Землю от Солнца. ...По истощению угля у нас останутся два пути (не считая неиспользованной до сих пор энергии движения морской поверхности) для получения работы из природных запасов энергии: мы должны найти способ использовать либо излучаемую Солнцем энергию, либо огромные запасы радиоактивных веществ.

Уже давно известен способ превращения лучистой энергии Солнца непосредственно в электрическую энергию; если мы подвергнем действию солнечных лучей место спая двух металлов (например, железа и висмута), то оно станет источником электродвижущей силы.

Можно надеяться, что человек сумеет в конце концов подчинить своей воле огромный запас энергии, отдаваемый нам Солнцем. Вряд ли от этого могут произойти климатические и другие изменения в хозяйстве природы.

1912



Островной тюлень

А. Е. Кузин,
кандидат биологических наук
Тихоокеанский научно-исследова-
тельский институт рыбного хозяй-
ства и океанографии
Владивосток

Островной тюлень (*Phoca vitulina richardi*) сравнительно недавно появился в списке обитателей отечественных вод и побережий¹. Это редкое в отечественной фауне морское млекопитающее обитает в очень ограниченном ареале от о-ва Хоккайдо до Командорских о-вов. Добыча его сейчас полностью запрещена, он взят под строгую охрану и занесен в Красную книгу СССР. Исследователи нашей страны, а также США, Канады и Японии тщательно изучают его биологию.

Систематическая принадлежность островного тюленя до сих пор остается спорной. Единодушно признают его подвидом обыкновенного тюленя (*Phoca vitulina*). Затруднения в систематике связаны с большой изменчивостью морфологических признаков и экологических особенностей животного, обусловленных разнообразием условий хотя и узкого, но контрастного в своих частях ареала. Например, на Курильских о-вах цвет меха животного варьирует от светлого до почти черного, а на Командорских о-вах встречаются особи, у которых верхняя часть туловища имеет типичную для этого подвида черную или темно-коричневую окраску, а брюхо светло-серого цвета, как у другого вида настоящих тюленей — ларги. На основании такого смешанного типа окраски американские зоологи Дж. Бернс и Ф. Фей предполагают межвидовую гибридную природу в местах совместного обитания



Высунувшись из воды, тюлень рассматривает нарушителя спокойствия.

Фото автора.

ларги и островного тюленя². Численность островного тюленя повсюду невелика, а в некоторых местах точно не установлена. На Курильских о-вах обитает около 1700—1900 особей, на Командорских — 1500, а на Камчатке — около 200.

По последним данным в юго-восточной части Берингова моря (восточное побережье Алеутских о-вов, северное побережье

п-ова Аляска и север акватории Бристольского залива) обитает около 29 тыс., в акватории штата Британская Колумбия — 2635 (1770—5000), в зоне Калифорнийского течения — 3127 островных тюленей. Общая численность их по западному побережью Северной Америки до Аляски составляет, по оценке В. Шеффера, от 50 до 200 тыс. голов, а по данным за 1979 г. — 312,5—317,5 тыс. особей.

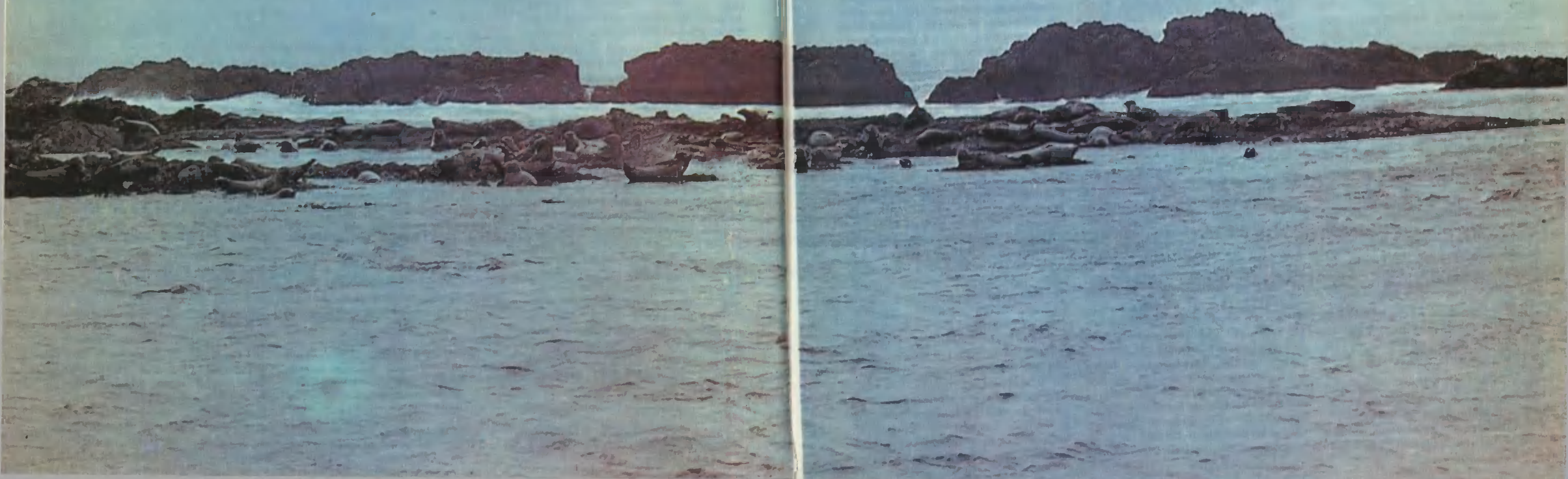
Среди представителей отряда ластоногих островной тюлень не выделяется своими размерами: средняя длина взрослых самцов, добытых на Курильских о-вах — около 174 см, вес — порядка 142 кг, самок, соответственно, — 161 см и 107 кг. Животные имеют короткий (до 2,5 см) грубый блестящий мех, верхняя часть туловища черного или темно-коричневого цвета к брюху постепенно светлеет. По всему телу разбросаны многочисленные неправильной формы кольца,

² Бернс Дж. Дж., Фей Ф. Г. Новые данные о таксономических взаимоотношениях между северо-тихоокеанскими тюленями рода *Phoca* (*sensu stricto*). — I Международный конгресс по млекопитающим. Т. I. М., 1974.

¹ Белкин А. Н. — Доклады АН СССР, 1964, т. 158, № 5, с. 1217.

Без тюленей многие скалы Курил и Командоров казались бы безжизненными.

Фото С. В. Маркова.





По темному фону меха островного тюленя разбросаны многочисленные белые кольца и пестрины.

Здесь и далее фото автора.

полукольца и пестрины, их плотность увеличивается от спины к брюху. Как правило, таких колец и пятен много на лицевой части головы, в области лопаток и крестца, а на брюшной стороне — на груди и на пупке. Летом островные тюлени линяют, при этом белые кольца и пятна тускнеют, становятся мало заметными и животные кажутся коричнево- или грязно-серыми.

Небольшая (относительно тела) голова с крупными черными глазами и мясистой верхнегубной подушкой, усаженой 45—50 черно-белыми вибриссами с каждой стороны, несколько приплюснута. Над каждым глазом и около ноздрей располагаются, соответственно, по 1 и по 5—6 вибрисс.

Короткие, до 32 см, передние конечности напоминают лапы наземных хищников и имеют по 5 пальцев, оканчивающихся мощными, но тупыми когтями.

Задние конечности ластообразные, в 1,5 раза длиннее передних и тоже снабжены когтями. Первый и пятый пальцы «ласт» длиннее и толще средних. Хвост ланцетовидный, 8—12 см длиной и 6—10 см шириной. Островной тюлень отличается от других представителей семейства строением подъязычного аппарата и мощным осевым скелетом, в особенности черепа и грудного отдела.

В отличие от других настоящих тюленей островной — обитатель прибрежных вод. Вся его жизнь проходит в непосредственной близости от берегов. Его залежки в защищенных от наката волн местах, как правило, изобилуют множеством обсыхающих в отлив камней. Свои лежбища животные занимают в течение всего года, но численность тюленей меняется там от сезона к сезону. На лежбище обычно обитает 30—40 тюленей, но порой бывает больше 100. На тех островах и скалах, где водятся морские котики и сивучи, иногда образуются смешанные залежки. Так, на скале Высокой (о-ва Каменные ловушки) в средней части Курильской гряды 12—15 островных тюленей постоянно

располагаются среди гарема морских котиков и прекрасно с ними уживаются. Постоянная толчея и шум на котиковом лежбище, видимо, не мешают островным тюленям, если котики держатся от них на определенном расстоянии. Тюлень проявляет беспокойство (быстро молотит вытянутой вбок передней конечностью и иногда рычит), если котик или даже кто-либо из сородичей прикасается к нему, поэтому островные тюлени никогда не ложатся вплотную друг к другу. Минимальная дистанция между животными на залежках — расстояние вытянутой вбок передней конечности. Как правило, тюлени лежат головой к воде, и, потревоженные, быстро ныряют в море, однако далеко не уплывают, а высунувшись из воды, разглядывают нарушителя спокойствия. Если тревога была ложной, некоторые тюлени вскоре снова выходят на берег. Как и у большинства животных, самые любопытные и доверчивые — детеныши и молодые тюлени.

По-видимому, у тюленя хорошо развиты все органы чувств, но особенно быстро он реагирует на движущийся предмет. У него прекрасное обоняние: незнако-

мый запах тюлень улавливает за десяток и более метров.

Биология размножения островного тюленя изучена плохо. Самцы достигают половой зрелости в 5—6 лет, а самки в 3 года. Наблюдения за спариванием, поведением в период размножения и деторождения единичны. Очевидно, на Курильских о-вах щенки появляются в первой половине апреля — конце июля: в это время мы встречали щенков со свежей или еще не отвалившейся пуповиной. По-видимому, очередное оплодотворение самки происходит вскоре после родов или в конце лактационного периода, так как уже у лактирующих животных в яичниках присутствует желтое тело новой беременности. В это же время мы встречали самцов с глубокими ранами на теле, очевидно, нанесенными друг другу в борьбе за самок.

Единственный детеныш длиной около 98 см и около 16 кг весом с окраской взрослого животного рождается на берегу и вскоре после появления на свет может плавать. Первое время щенки питаются только молоком, и за месяц молочной диеты детеныш вырастает на 10—11 см и удваивает свой вес, а жировая прослойка к этому времени достигает более 4 см и составляет 40—42% от общего веса животного.

Питаться самостоятельно, добывая пищу в море, щенки начинают постепенно. Взрослые островные тюлени питаются кальмарами, осьминогами, креветками и рыбой, ныряя, по-видимому, на большую глубину, и могут оставаться под водой до 8 мин. Наблюдая за 2—3-месячными щенками, мы обнаружили, что они также могут долго не всплывать на поверхность. Например, детеныш, находящийся в заполненной водой расщелине скалы, не выплывал оттуда около 6 мин. Проводя подобные наблюдения за другим видом тюленей — ларгой, мы выяснили, что островной тюлень может дольше, чем ларга, находиться без воздуха. Это обеспечено, очевидно, морфо-физиологическими показателями (составом крови, строением дыхательной системы, количеством миоглобина), которые у островного тюленя выше, чем у ларги, и



По соседству с островным тюленем обитает ларга с совершенно отличной от него окраской.

потому островные формы могут дольше противостоять аноксии³.

Продолжительность жизни островного тюленя точно не установлена. На Курильских о-вах и на о-ве Хоккайдо вылавливали животных не старше 23 лет, однако на Южных Курильских о-вах был найден череп 26-летнего островного тюленя. Растут самцы до 9—10 лет, самки — до 7—8. Наиболее крупные экземпляры среди самцов — 191 см, а среди самок — 175 см. Самцы всегда крупнее самок, и потому даже при рождении детенышей их пол можно определить по размеру.

Врагов у островного тюленя нет: для сухопутных живот-

ных он почти недоступен, а крупные морские хищники не могут близко подходить к берегу, где обычно плавают тюлени. Болезни, кроме гельминтозов, не изучены. Зарегистрировано 10 видов гельминтов (цестоды — 1 вид, скребни — 2, нематоды — 7), 2 вида клещей и 1 вид вшей.

Из-за своей малочисленности островной тюлень у нас в стране хозяйственного значения не имеет. Интересен он как редкий представитель обыкновенного тюленя в тихоокеанском регионе.

Бесценно эстетическое значение островного тюленя: многие скалы и мысы Курильских и Командорских о-вов без него казались бы безжизненными. Он легко привыкает к присутствию человека и совершенно не изменяет своего поведения, если человек не вмешивается в его жизнь. Интенсивное освоение прибрежной зоны может привести к снижению численности островного тюленя, поэтому было бы рационально создать заповедники на некоторых островах, где сейчас обитает это редкое животное.

³ Косыгин Г. М., Кузин А. Е., Соболевский Е. И. К систематическому положению, морфологии и экологии курильского тюленя. Морские млекопитающие. — Материалы 6-го Всесоюзного совещания. Ч. 1. Киев, 1975.

Новые кинетические явления в молекулярных газах

В. Д. Борман, В. И. Николаев



Владимир Дмитриевич Борман, доктор физико-математических наук, профессор Московского инженерно-физического института. Основные работы — в области молекулярной физики, кинетики молекулярных газов, физики поверхности.



Борис Иванович Николаев, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой Московского инженерно-физического института. Научные интересы связаны с молекулярной физикой, физической кинетикой и динамикой газов, взаимодействием газов с поверхностью.

В последние годы было установлено, что влияние полей (магнитного или электрического) на процессы переноса в молекулярных газах приводит к целому ряду новых эффектов, с помощью которых можно исследовать неравновесные свойства газов, взаимодействие молекул между собой и с поверхностью. Все это позволяет утверждать, что возник новый раздел молекулярной физики — физическая кинетика газов с вращательными степенями свободы.

Системы, изучаемые в молекулярной физике, состоят из большого числа частиц (молекул). Совершая хаотическое движение, молекулы приближаются на достаточно малые расстояния как друг к другу, так и к стенкам сосуда. При этом возникают силы

взаимодействия и молекулы газа изменяют направление скорости — происходит процесс столкновения. Благодаря хаотическому движению и столкновениям, молекулы распределяются по энергиям. Если газ находится в тепловом равновесии со стенками сосуда, то распределение молекул газа по энергиям зависит лишь от температуры и не зависит от природы газа (распределение Максвелла). В этом случае все направления движения молекул равновероятны. В неравновесном газе (например, при наличии вязкого потока или пространственной неоднородности температуры) вследствие столкновений молекул возникает направленный перенос импульса (явление вязкости) или энергии (явление теплопроводности).

сти). Распределение молекул по направлениям скорости в неравновесном газе становится анизотропным.

В одноатомном газе все движения частиц сводятся только к поступательному. В случае газа многоатомных молекул при температурах $T \gg 100$ К в результате столкновений молекул друг с другом часть их поступательной энергии переходит в энергию вращения (неупругие столкновения) — возбуждаются вращательные степени свободы.

До начала 60-х годов для описания явлений в многоатомных газах с вращательными степенями свободы в основном использовались подходы, развитые для одноатомного газа. Возникновение современных представлений о механизмах явлений переноса в многоатомных газах связано с фундаментальными физическими результатами, полученными в последние годы. Успехи в понимании механизмов процессов переноса во многом обусловлены обнаружением ряда новых эффектов — влияния внешнего поля (магнитного или электрического) на вязкость, теплопроводность и другие процессы переноса. Эти эффекты отсутствуют в одноатомных газах. Они связаны с прецессией молекул в поле и с особенностями столкновений вращающихся молекул.

В настоящей статье мы хотели бы, не претендуя на описание всех направлений физической кинетики, основанных на учете влияния внутренних степеней свободы молекул, рассмотреть наиболее интересные, с нашей точки зрения, кинетические явления, происходящие в многоатомных газах при наличии внешних полей.

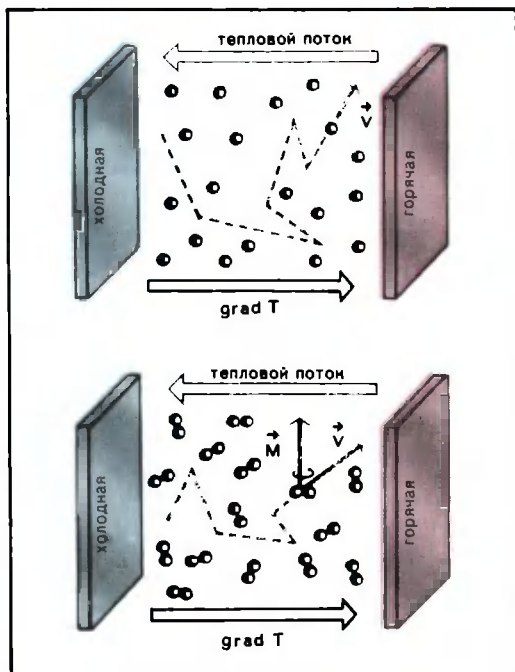
Существенный вклад в развитие исследований эффектов влияния поля на явления переноса в молекулярных газах и пионерские работы в этой области принадлежат советским ученым. Такие исследования у нас в стране ведутся в Московском инженерно-физическом институте (МИФИ), Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова (ИАЭ). За рубежом центром таких исследований стала лаборатория Лейденского университета (Нидерланды). Работы ведутся также в ФРГ, США, Канаде, Италии.

Можно выделить три группы явлений во внешнем поле, описание которых сопряжено с необходимостью учета различных типов столкновений вращающихся молекул. Это эффекты, происходящие при больших давлениях (когда «работают» межмолекулярные столкновения), при малых давлениях (когда все явления обусловлены столкновениями молекул с поверхностью стенки) и

в режиме промежуточных давлений (когда существенны и межмолекулярные столкновения, и взаимодействие молекул со стенкой). Общим, что объединяет эффекты в этих трех случаях, является существование преимущественных ориентаций вектора момента вращения молекул в неравновесном газе (неравновесная поляризация газа) в отсутствие поля.

ПЛОТНЫЕ ГАЗЫ

Рассмотрим причины появления неравновесной поляризации в одном из предельных случаев — при больших давлении-



Молекулярный перенос тепла между холодной и горячей поверхностями в плотном газе (вверху — одноатомный газ, внизу — двухатомный), когда длина свободного пробега молекул много меньше расстояния между поверхностями. Функция распределения одноатомного газа зависит от вектора скорости молекул \vec{v} , а многоатомного газа не только от \vec{v} , но и от вектора момента вращения молекулы \vec{M} .

як (длина свободного пробега молекул λ много меньше L , характерного размера сосуда). Существование поляризации означает, что при наличии пространственной неоднородности макроскопических параметров, таких как температура, скорость движения или концентрация молекул в смеси, функция распределения газа начинает зависеть не только от вектора скорости

и величины вращательного момента (\vec{M}) молекулы, но еще, и это главное, от направления \vec{M} . (Отметим, что вектор \vec{M} характеризует ориентацию быстро вращающейся линейной молекулы). В случае нелинейных молекул функция распределения зависит еще и от проекции момента вращения на ось симметрии молекулы.

Зависимость функции распределения от векторов \vec{v} и \vec{M} приводит к тому, что средние значения произведений проекций этих векторов на оси лабораторной системы координат не равны нулю. Например, если отлично от нуля среднее значение произведения $M_i M_k$ (индексы i, k обозначают соответствующие проекции на оси x, y, z), то принято говорить, что имеет место тензорная поляризация молекул газа. В чем же причина появления зависимости функции распределения от направления вращательного момента?

Напомним, что в неравновесном одноатомном газе, в котором имеется вязкое движение или тепловой поток, функция распределения газа является анизотропной в пространстве скоростей, т. е. зависит не только от величины, но и от направления вектора скорости молекул. Очевидно, что такова же зависимость функции распределения и в случае газа многоатомных молекул. Однако наряду с такой анизотропией появляется также анизотропия функции распределения в пространстве моментов и как следствие — неравновесная поляризация молекул газа. Она возникает в результате столкновений, вероятность которых зависит от направления вектора скорости и вращательного момента молекул. Быстро вращающиеся простые двухатомные молекулы можно представить в виде сплюснутого эллипсоида с осью симметрии, параллельной моменту вращения. Из геометрических соображений ясно, что сечение рассеяния таких молекул-эллипсоидов будет максимальным, если они сталкиваются плashмя, когда направления моментов вращения параллельны скорости относительного движения молекул. Поэтому при рассеянии из потока двухатомных молекул, движущихся в определенном направлении, будут выбывать преимущественно молекулы с направлением момента, параллельным их скорости. Распределение по \vec{M} оставшихся в потоке молекул будет анизотропным.

При включении магнитного или электрического поля возникает прецессия молекул и изменяется распределение молекул по направлениям момента вращения, что приводит к изменению теплопроводности

и других свойств переноса газов. Изменение теплопроводности парамагнитных газов в магнитном поле наблюдалось еще в 30-е годы Г. Зенфтлебена (впоследствии было установлено и изменение их вязкости). Однако микроскопическая причина эффекта Зенфтлебена долгое время оставалась неясной. Последовательная кинетическая теория газов с вращательными степенями свободы была построена лишь в 60-е годы советскими физиками Ю. М. Каганом и Л. А. Максимовым¹, которые впервые рассмотрели зависимость функции распределения от \vec{M} . На основе этой теории оказалось возможным объяснить эффект Зенфтлебена и предсказать ряд новых эффектов, которые будут обсуждаться ниже.

Механизм влияния магнитного поля на теплопроводность и вязкость парамагнитных газов заключается в следующем. Магнитное поле (\vec{H}) в плазме действует на траекторию заряженных частиц. В нейтральных газах этого не происходит, и, на первый взгляд, магнитное поле не должно бы влиять на явления переноса. Однако молекулы имеют магнитный момент ($\vec{\mu}$), и поле приводит к тому, что, во-первых, магнитные моменты «выстраиваются» вдоль \vec{H} и, во-вторых, начинают прецессировать вокруг направления магнитного поля. Параметром, определяющим «выстраивание», является отношение $\mu H/kT$ — энергии взаимодействия молекул с полем к средней энергии молекул (T — температура газа, k — постоянная Больцмана). Для парамагнитных газов, у которых $\mu \sim \mu_B$ (μ_B — магнетон Бора, равный $0,93 \cdot 10^{-20}$ эрг/Э), этот параметр сравним с единицей при комнатных температурах только в очень сильных полях ($\sim 10^6$ Э), и поэтому «выстраивание», т. е. обычной термодинамически равновесной векторной поляризацией молекул, можно пренебречь. Прецессия молекул оказывает влияние на явления переноса уже при полях порядка 1 Э. Вследствие прецессии молекул происходит непрерывное изменение ориентации момента вращения молекул и, следовательно, угла между направлениями векторов скорости и момента вращения, от которого зависит вероятность рассеяния. Поэтому прецессия молекул приводит к изменению неравновесного распределения по направлениям \vec{M} и среднего сечения рассеяния. Величина изменения среднего сечения и соответствующих изменений коэффициентов переноса в магнитном поле зависит от угла поворота момента вращения за время свободного

¹ Каган Ю. М., Максимов Л. А. — ЖЭТФ, 1961, т. 41, вып. 9, с. 842.

пробега (τ). Если период прецессии ($T = 2\pi/\omega$, ω — частота прецессии) много больше τ , то угол поворота M за это время мал и влияние поля несущественно. Когда $T \sim \tau$, т. е. произведение $\omega\tau \sim 1$, наблюдается влияние поля на процесс переноса. Оценки показывают, что в соответствии с этим условием при давлении газа $p \sim 1$ мм рт. ст. и температуре $T \sim 300$ К напряженность поля, необходимая для исследования эффекта, составит $H \sim 1$ Э.

Поскольку частота прецессии пропорциональна $H/\omega = \gamma H$, γ — гиромагнитное отношение, равное μ/M , а время свободного пробега τ обратно пропорционально давлению, то величина $\omega\tau$ будет пропорциональна отношению H/p . При возрастании отношения H/p коэффициенты переноса парамагнитных газов уменьшаются и стремятся к некоторому предельному значению, которое соответствует полному усреднению в результате прецессии вектора момента вращения в плоскости, перпендикулярной H .

В Советском Союзе экспериментальные исследования эффекта Зенфтлибена были начаты еще в 50-х годах Л. Л. Гореликом в ИАЭ. Однако интенсивное изучение явлений переноса в молекулярных газах при наличии внешних полей началось в 60-е годы после уже упомянутой теоретической работы Ю. М. Кагана и Л. А. Максимова, а также экспериментальных работ Л. Л. Горелика и В. В. Синицина и И. Беенакера с сотрудниками (Лаборатория им. Камерлинг-Оннеса, г. Лейден)². И. Беенакером и его сотрудниками было обнаружено, что в магнитном поле должны изменяться коэффициенты переноса не только парамагнитных, но и всех других (I) газов, традиционно называемых непарамагнитными, но которые обладают слабым парамагнетизмом (он обусловлен возникновением магнитного момента при вращении молекулы). Величина вращательного гиромагнитного отношения не зависит от момента вращения и составляет, например, для молекулы азота $\gamma \approx 0,25 \mu_N / \hbar$ (μ_N — ядерный магнетон, равный $5,05 \cdot 10^{-24}$ эрг/Э). Оценки, аналогичные приведенным выше, показывают, что для наблюдения эффекта в азоте, находящемся при давлении $p \sim 1$ мм рт. ст. ($\tau \sim 10^{-6}$ с), требуется поле $H \sim 10^3$ Э. Это поле в тысячу раз больше, чем необходимое для парамагнитного кислорода, но оно вполне удобно для экспериментальных исследований.

Расскажем подробнее о постановке эксперимента по исследованию теплопроводности в магнитном поле. Пусть газ находится, например, между двумя металлическими пластинами, нагретыми до разных температур, а магнитное поле соленоида (или электромагнита) направлено перпендикулярно или параллельно пластинам, т. е. соответственно параллельно или перпендикулярно градиенту температур. В газе существует тепловой поток, переносимый молекулами путем обмена энергией при столкновениях. При фиксированной температуре одной пластины и при постоянной мощности, подводимой для нагревания другой пластины, изменение теплопроводности газа в поле будет проявляться как изменение температуры второй пластины. Это изменение может быть измерено с помощью термосопротивления, включенного в одно из плеч измерительного моста. Для устранения влияния теплового дрейфа в противоположное плечо измерительного моста включается термосопротивление аналогичного устройства, также заполненного газом, но находящегося вне поля. Такая схема измерений позволяет достичь точности определения относительного изменения коэффициента теплопроводности порядка 10^{-6} при давлении газа $p \sim 1$ мм рт. ст.

Многочисленные исследования показали, что теплопроводность большинства молекулярных газов уменьшается в магнитном поле, а величины изменения коэффициента теплопроводности ($\Delta\chi$) зависят от отношения H/p . Наблюдается характерное насыщение эффекта, когда с увеличением H/p величина $\Delta\chi$ стремится к предельному значению $(\Delta\chi)_{\text{нас}}$. Эффект анизотропный — изменение коэффициента теплопроводности зависит от ориентации поля. Эти зависимости коэффициента теплопроводности ярко выявляют особенности прецессионного механизма влияния поля на процесс переноса.

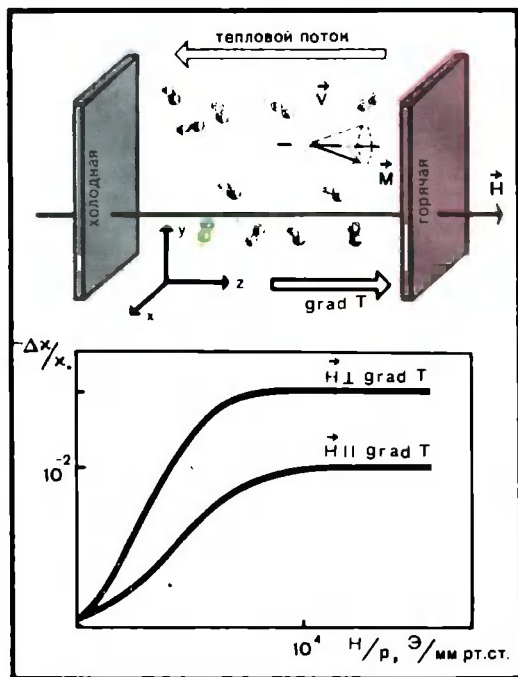
В работах, выполненных И. К. Кикоиным и его сотрудниками³, были обнаружены эффекты, которые можно считать аналогами эффекта Холла в процессах переноса импульса (вязкость) и энергии (теплопроводность) в газе нейтральных молекул. В магнитном поле, например, возникает

² Горелик Л. Л., Синицын В. В. — ЖЭТФ, 1964, т. 46, вып. 1, с. 401; Beenaeker J. J. M. et al. — Phys. Letts. 1962, v. 2, p. 5.

³ Горелик Л. Л., Николаевский В. Г., Синицын В. В. — Письма в ЖЭТФ, 1966, т. 4, с. 456; Kikoin I. K., Balashov K. I., Lasarev S. D., Neustadt R. E. — Phys. Letts., 1967, 24A, p. 165.

тепловой поток в направлении, перпендикулярном как направлению градиента температуры ($\text{grad } T$), так и направлению поля, при условии, что векторы H и $\text{grad } T$ не параллельны друг другу. В стационарном состоянии газа существование такого потока тепла приводит к возникновению градиента температуры, перпендикулярного первоначальному, который изменяет знак при изменении направления поля на обратное.

Исследования влияния магнитного поля на поток молекулярного газа показали, что включение поля приводит к измене-



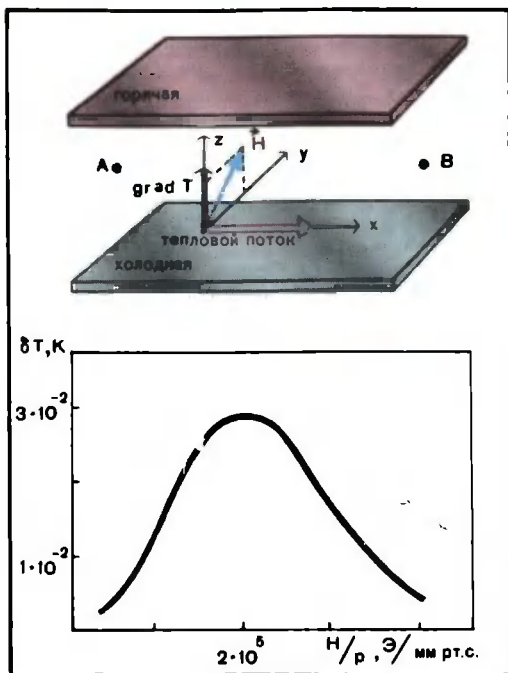
Молекулярный перенос тепла в плотном газе в магнитном поле H . Вектор момента вращения M молекулы прецессирует вокруг направления H (вверх по z). Зависимость относительного изменения коэффициента теплопроводности $\Delta\kappa/\kappa_0$ азота от отношения H/p (внизу) при двух взаимных ориентациях поля и градиента температуры. Средняя температура газа 300 К; H — величина поля, p — давления.

нию разности давлений $\delta(\Delta p)$ на концах канала, по которому движется газ, а также к возникновению разности давлений δp в поперечном сечении канала. Последний эффект нечетен по полю. Как и в случае теплопроводности, величины $\delta(\Delta p)$ и δp зависят от отношения H/p .

Было установлено также, что процессы переноса меняются при включении

электрического поля в полярных газах. Это явление находит адекватное объяснение в рамках прецессионного механизма. Изменение коэффициентов переноса полярных газов в электрическом поле имеет ряд интересных особенностей. Так, было обнаружено, что величина изменения коэффициента теплопроводности ($\Delta\kappa$) некоторых газов может быть положительной, а зависимость $\Delta\kappa(E/p)$ немонотонной — при определенном значении E/p величина $\Delta\kappa$ изменяет знак (аномальный эффект).

В переменных полях кинетические



Возникновение потока тепла, перпендикулярного к плоскости, образованной векторами H и $\text{grad } T$ (вверх по z). Зависимость разности температур δT в точках А и В от отношения H/p (внизу) для азота. Разность температур между горячей и холодной поверхностями — 15 К, средняя температура газа 85 К.

свойства газов оказываются зависящими от частоты поля (дисперсия коэффициентов переноса)⁴. Характерной особенностью дисперсии в области малых амплитуд поля является значительное уменьшение вели-

⁴Борман В. Д., Горелик Л. Л., Николаев Б. И., Сидицын В. В. — Письма в ЖЭТФ, 1967, т. 5, с. 105.

чины эффекта при частотах поля, близких к частоте столкновений молекул. Это связано с тем, что при изменении знака напряженности переменного поля изменяется на обратное и направление прецессионного движения момента вращения молекулы. Поэтому дисперсию можно объяснить уменьшением угла, на который поворачивается за время свободного пробега вектор момента вращения при увеличении частоты поля. Исследование частотной зависимости позволяет определить величину частоты релаксации неравновесной поляризации молекул газа.

Дальнейшее развитие исследований привело к обнаружению резонансных особенностей кинетических свойств газа. Эти особенности наблюдали в ИАЭ и МИФИ⁵ на примере теплопроводности при различных взаимных ориентациях постоянного и переменного магнитных полей. Явление было названо газокинетическим магнитным резонансом. Оно обусловлено резонансным изменением среднего сечения рассеяния молекул при определенном соотношении между частотой переменного поля и частотой прецессии в постоянном поле. Исследования показали, что газокинетический резонанс имеет тонкую структуру, связанную с симметрией взаимодействующих молекул. Он может быть использован для анализа газов, в частности парамагнитных газов и радикалов, а также для определения величины магнитных моментов молекул.

В результате проведенных исследований была изучена неравновесная поляризация молекул плотных газов, установлены механизмы ее возникновения, получены сечения рассеяния, которое приводит к релаксации различных поляризаций. Эта информация в настоящее время используется для разработки методов восстановления несферичных потенциалов рассеяния молекул. На основе эффекта влияния поля на теплопроводность газов были созданы высокочувствительные приборы для анализа состава газа.

ТЕРМОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В СВОБОДНОМОЛЕКУЛЯРНОМ ГАЗЕ

Перейдем теперь к рассмотрению кинетических явлений при низких давлениях, когда длина свободного пробега молекул много больше характерного размера

сосуда (свободномолекулярный газ), а макроскопические потоки определяются столкновением молекул со стенкой. При понижении давления исчезает основная причина рассмотренных выше явлений во внешних полях — несферичные столкновения молекул друг с другом. Поэтому в свободномолекулярном газе явления такого типа должны отсутствовать. Об этом свидетельствовали, казалось бы, и результаты опытов, из которых следовало, что с понижением давления изменение коэффициентов теплопроводности и вязкости существенно меньше. Впервые мысль о том, что магнитное поле может влиять на процессы переноса массы, импульса и энергии в свободномолекулярном газе была высказана авторами настоящей статьи совместно с Л. А. Максимовым и В. И. Трояном⁶. Единственной причиной этого эффекта может быть зависимость взаимодействия молекул с поверхностью от момента вращения, которая приводит к их поляризации.

Вместе с тем, если газ находится в термодинамическом равновесии со стенкой, то все направления движения молекул и направления момента вращения молекул равновероятны. Распределение такого газа будет максвелловским, зависящим лишь от энергии молекул. Поэтому поляризация молекул газа может возникнуть только, если в газе протекает необратимый процесс.

Свободномолекулярный газ в зазоре между двумя поверхностями с различными температурами можно представить в виде двух не взаимодействующих потоков молекул от горячей стенки к холодной и наоборот. Поляризация молекул газа возникает только из-за зависимости неупругого рассеяния на поверхности от ориентации молекул. Это ясно из того, что при упругом рассеянии поляризация молекул не может быть связана с единственной в данных условиях неравновесной термодинамической «силой» — разностью температур поверхностей. Однако, на первый взгляд, и неупругое рассеяние молекул на стенке не может привести к их поляризации. В результате взаимодействия молекулы с каждым атомом поверхности, зависимость суммарной потенциальной энергии молекулы от расстояния до поверхности имеет глубокий минимум (потенциальная яма). Например, для молекул типа N_2 , взаимодействующих с поверхностью металлов, глубина потенци-

⁵ Борман В. Д., Горелик Л. Л., Николаев Б. И., Синицын В. В. — Письма в ЖЭТФ, 1967, т. 6, с. 945.

⁶ Борман В. Д., Максимов Л. А., Николаев Б. И., Троян В. И. — Доклады АН СССР, 1972, т. 207, № 5, с. 1082.

альной ямы составляет 1000—3000 К. Поэтому при температурах $T \sim 100$ К, когда амплитуда колебаний атомов поверхности достаточно низкая и молекулы газа захватываются потенциальной ямой, время жизни молекул в яме много больше периода колебаний атомов поверхности. За это время молекулы приходят в термодинамическое равновесие со стенкой, и распределение молекулы, вылетающих из потенциальной ямы, должно быть изотропным как по направлениям вылета, так и по ориентациям момента вращения.

Однако в нашем случае утверждение, что распределение испаряющихся молекул является максвелловским, не является строгим. Распределение испаряющихся молекул остается максвелловским тогда и только тогда, когда на поверхность падает равновесный поток с той же температурой. Если же падающий поток отвечает другой температуре и газ не приходит в термодинамическое равновесие с поверхностью, то распределение испаряющихся молекул не является, вообще говоря, изотропным как по направлениям скорости, так и по направлениям момента вращения.

Таким образом, газ в зазоре между холодной и горячей поверхностями можно представить в виде двух потоков поляризованных молекул, летящих от холодной и от горячей поверхности. Отсюда становится ясным, что если изучать свойства рассматриваемого газа, то в нем помимо теплового потока от горячей к холодной поверхности, имеется неравновесная поляризация, которая может быть обнаружена, например, по эффекту двойного лучепреломления.

Теперь включим магнитное поле. Молекулы газа начинают прецессировать. Это приводит к изменению поляризации в падающем потоке и, соответственно, в отраженном потоке. В конечном счете, изменение поляризации является причиной изменения потока тепла (Q) между поверхностями. Влияние поля на тепловой поток в свободномолекулярном газе (терромагнитный эффект) имеет интересную особенность. Зависимость теплового потока от величины поля (постоянного, однородного) оказывается осциллирующей. Причина этого в следующем. Допустим, что вероятность рассеяния молекул зависит от угла Θ_m между направлением их момента вращения и нормалью к поверхности. Если магнитного поля нет, то угол Θ_m при движении молекулы от одной поверхности к другой не изменяется. Если включить магнитное поле, то момент вращения молекулы начинает вращаться в плоскости, перпендикулярной

полю. Если поле направлено вдоль поверхностей, то молекула, которая летит от одной из них с моментом в плоскости, перпендикулярной \vec{H} , подлетит к другой поверхности с моментом не под углом Θ_m к нормали, а под углом

$$\Theta'_m = \Theta_m + \omega t.$$

Здесь $\omega = \gamma H$ — частота прецессии (γ — гиромагнитное отношение), а t — время пробега от одной поверхности к другой. Если величина поля такова, что произведение ωt кратно 2π , то молекула подлетит к противоположной поверхности под тем же углом, что и в отсутствие поля. Для молекул, у которых момент вращения не лежит в плоскости, перпендикулярной полю, величина Θ_m с увеличением ωt периодически изменяется между двумя предельными значениями. Из изложенного становится ясным, что зависимость теплового потока от магнитного поля была бы строго периодической, если бы для всех молекул время пробега t было бы одинаковым. В действительности скорости движения молекул от одной стенки к другой разные, что приводит к неодинаковым значениям ωt для разных молекул, и реально тепловой поток уже не строго периодический. Фактически осцилляции потока являются затухающими.

Появ принципиальную возможность наблюдения осциллирующей зависимости теплового потока от магнитного поля, мы заново построили прибор, принципиально похожий на обсуждавшийся выше. Использовать имевшийся у нас прибор для исследования эффекта Зенфтлебена было нельзя, так как он был приспособлен для сравнительно высоких давлений. В качестве чувствительного элемента нового прибора использовалась пластинка слюды с размерами $5,0 \times 6,0$ см и толщиной $(3-5) \cdot 10^{-4}$ см с напыленным на обе стороны слоем металла. Этот слой металла являлся горячей поверхностью. Он подогревался электрическим током и служил термосопротивлением, изменяющим свою величину при изменении потока тепла через окружающий разреженный газ. Пластинка слюды располагалась на равном расстоянии $L = (0,1-0,3)$ см между двумя холодными стенками, также покрытыми напыленным слоем металла. Чувствительность такого прибора к изменению потока тепла в газе составляет около 10^{-9} Вт/см², что на два-три порядка больше по сравнению с чувствительностью приборов, используемых для изучения эффекта Зенфтлебена при давлениях около 10^{-3} мм рт. ст. Она достигнута за счет срав-

нительно большей площади пластинки слюды и существенного увеличения доли энергии, отводимой от чувствительного элемента через газ, в полном потоке рассеиваемой энергии (за счет малой толщины пластинки слюды).

Итак, изготовленный прибор мы поместили в вакуумную камеру и наполнили ее азотом при давлении $p \approx 1 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. Длина свободного пробега молекул при этом давлении составляет примерно 5 см, так что расстояние между поверхностями молекулы пролетали практически без столкновений друг с другом. Температуры поверхностей были соответственно 300 К и 380 К. Когда этот прибор мы поместили в магнитное поле, то получили кривую, совпадающую с той, которую ожидали. Экспериментальные исследования термомагнитного эффекта были проведены с целым рядом газов (O_2 , CO , CO_2 , NO , NO_2) и различными вариантами металлических поверхностей (платина—платина, золото—золото, платина—золото).

Исследования привели к одному весьма неожиданному результату⁷. В частности, было установлено, что в зазоре между поверхностями золота вектор поляризации молекул кислорода перпендикулярен к поверхностям (векторная поляризация), а в случае азота поляризация описывается уже не вектором, а тензором второго ранга (тензорная поляризация). Из этого следует, что в отличие от межмолекулярного взаимодействия взаимодействие двух одинаковых по геометрической структуре молекул (N_2 и O_2) с поверхностью металла (золота) существенно различается. Микроскопические причины такого различия в настоящее время неясны.

Проведенные исследования показали, что термомагнитный эффект в свободно-молекулярном газе может быть использован для изучения рассеяния молекул на поверхности и, в частности, для выявления механизма обмена энергией между молекулой и поверхностными модами возбуждения твердого тела. Необходимо отметить, что рассматриваемый эффект, по видимому, пока единственный, с помощью которого может быть изучено рассеяние, зависящее от ориентации молекул (несферичное рассеяние). Известные в настоящее время другие методы дают лишь информа-

цию о взаимодействии с поверхностью, усредненном по ориентациям молекул.

Термомагнитный эффект может быть использован также для изучения поверхности. В этом случае поляризованные молекулы, падающие на поверхность твердого тела, можно рассматривать как зондирующие частицы. Если число физически адсорбированных⁸ молекул мало, то молекулы газа будут взаимодействовать с хемосорбированными частицами. При этом термомагнитный эффект зависит как от состава хемосорбированного слоя, так и от состояния молекул в этом слое. Это открывает возможность применения термомагнитного эффекта для контроля состояния поверхности в условиях ее взаимодействия с газом. В другом крайнем случае термомагнитный эффект будет зависеть от процессов взаимодействия в слое физически адсорбированного вещества. Как показали эксперименты, в таких условиях наблюдается пока непонятное на микроскопическом уровне изменение знака эффекта.

Интересным результатом применения термомагнитного эффекта для исследования поверхности стало установление неизвестных ранее магнитных свойств двумерного слоя хемосорбированных частиц⁹. О влиянии поля на состоянии поверхности, покрытой слоем хемосорбированных частиц, свидетельствует обнаруженный эффект скачкообразного изменения теплового потока при определенном значении поля (H_k), когда $\omega t \gg 1$. Такое изменение теплового потока наблюдалось в газах N_2 , CO , взаимодействующих с поверхностью платины, покрытой хемосорбированными молекулами CO или атомами водорода, а также с поверхностью золота, покрытой хемосорбированными молекулами CO . Установленная зависимость величины H_k от содержания CO и водорода на поверхности и температуры, а также малая «ширина» скачка ($\Delta H/H_k \sim 5 \cdot 10^{-2}$) указывают на существование коллективного магнитного взаимодействия в слое хемосорбированных частиц. Изменение магнитного состояния поверхности при $H = H_k$ связывают с магнитным фазовым переходом, при

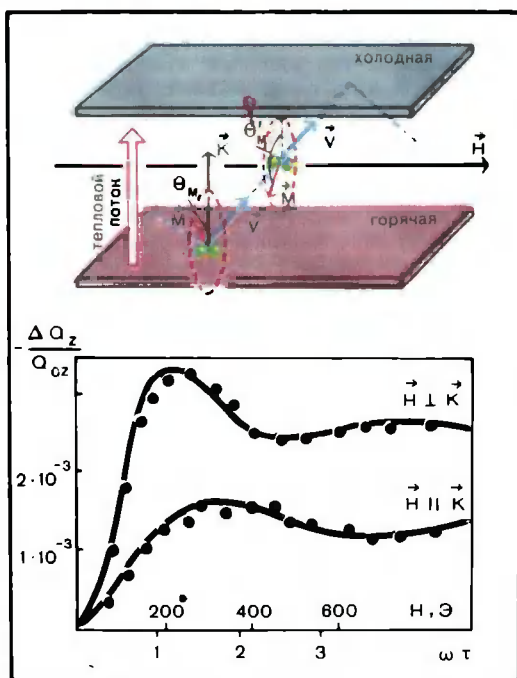
⁸ Атом физически адсорбирован, если он «прилип» к поверхности в результате суммарного действия ван-дер-ваальсовых (дисперсионных) сил притяжения. Если же в адсорбционной связи участвуют большие по величине химические силы, обусловленные перераспределением электронов, то говорят, что частицы хемосорбированы.

⁹ Борман В. Д., Бутцев Б. И., Николаев Б. И., Троян В. И.—ЖЭТФ, 1977, т. 73, вып. 1, с. 200.

⁷ Борман В. Д., Крылов С. Ю., Николаев Б. И., Рябов В. А., Троян В. И.—ЖЭТФ, 1976, т. 71, вып. 10, с. 1373.

котором изменяется спиновая структура слоя хемосорбированных частиц¹⁰. Обнаружение магнитных свойств слоя хемосорбированных частиц, по-видимому, существенным образом дополняет современные представления о состоянии адсорбированного вещества.

В свободномолекулярном газе возможны и другие терромагнитные явления, а также явления, связанные с влиянием поля на поток газа. Так, при включении магнитного поля в молекулярном газе, находящемся между двумя поверхностями с



Молекулярный перенос тепла в свободномолекулярном газе при наличии магнитного поля [вверху]. Момент вращения \vec{M} молекулы, вылетающей с горячей поверхности со скоростью \vec{v} , прецессирует в плоскости, перпендикулярной \vec{H} , и поворачивается за время пролета τ на угол $\omega\tau = \theta'_M - \theta_M$ (ω — частота прецессии). Вектор \vec{K} — нормаль к поверхности. Такое движение вращающейся молекулы в поле обуславливают осциллирующую зависимость изменения теплового потока $[\Delta Q_z/Q_z]$ от напряженности поля [внизу]. Экспериментальные данные приведены для азота, взаимодействующего с платиной при температуре холодной поверхности 300 К, горячей 380 К.

различными температурами, могут возникнуть потоки газа и тепла вдоль поверхностей, а также действующие на стенки нормальные и тангенциальные силы. Ясно, что аналогичные явления должны наблюдаться и при включении электрического поля. Однако экспериментальных исследований в этом направлении пока нет.

ОБЛАСТЬ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ДАВЛЕНИЙ

Рассмотренные выше явления имеют место в предельных случаях больших ($\lambda \ll L$) и малых ($\lambda \gg L$) давлений. В области промежуточных давлений, когда $\lambda \sim L$, наблюдаются более сложные зависимости от напряженности поля макроскопических потоков в газе (например, переход от монотонной зависимости теплового потока, характерной для эффекта Зенфтлибена, к осциллирующей зависимости в свободномолекулярном газе). Кроме того, в газе с вращательными степенями свободы имеют место специфические эффекты, исчезающие при больших давлениях ($\lambda/L \rightarrow 0$): возникновение в поле терромагнитной разности давлений в закрытом плоском канале, стенки которого имеют разные температуры, и терромагнитной силы, действующей на тело в неоднородно нагретом газе, а также эффект Скотта.

Возникновение терромагнитной разности давлений связано с появлением при включении поля потока газа, направленного под прямым углом как к градиенту температуры, так и к напряженности поля. В результате этого между концами закрытого канала образуется разность давлений δp и возникает противоток газа. При приближении к стационарному состоянию полный поток газа в канале стремится к нулю. Возникающая в стационарном состоянии разность давлений между концами канала нечетна по полю, описывается функцией вида $\delta p = \frac{\Delta T}{P} F(H/r)$, и в пределе

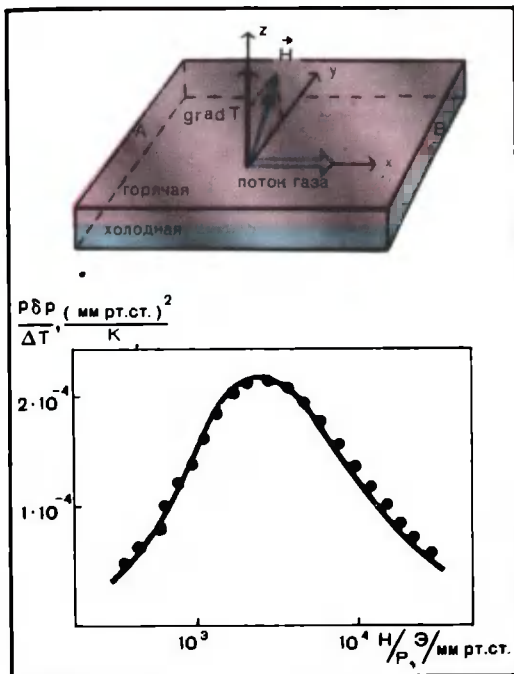
больших давлений исчезает. В соответствии с этим можно сделать вывод, что перенос массы газа возникает лишь в кнудсовском слое (толщиной порядка λ) вблизи поверхностей.

В экспериментах по изучению терромагнитной силы измерялись нормальная и тангенциальная компоненты силы, действующей на тонкий диск из немагнитного материала, который подвешивался в газе в зазоре между двумя поверхностями, имеющими разную температуру (градиент температуры был перпендикулярен плоско-

¹⁰ Борман В. Д., Максимов Л. А., Попов А. П., Троян В. И. — ЖЭТФ, 1981, т. 81, вып. 2, с. 719.

сти диска). Компоненты силы определялись путем измерения возникающего при включении поля отклонения диска от равновесного (для $H=0$) положения. Установлено, что величина термомагнитной силы зависит от отношения H/p . В пределе больших давлений эффект исчезает.

Как показали исследования, рассмотренные эффекты адекватно описываются теорией, учитывающей зависимость функции распределения от момента вращения молекул, прецессию молекул в поле, а также несферичный характер как межмо-



Появление термомагнитной разности давлений в условиях, когда длина свободного пробега молекул сравнима с расстоянием между холодной и горячей поверхностями. В канале, образованном этими поверхностями, при включении магнитного поля создается поток газа, перпендикулярный плоскости, образованной векторами \vec{H} и $\text{grad } T$. Между концами канала (точки А и В) возникает разность давлений δp , которая изменяет знак при изменении направления поля на обратное (вверху). Зависимость $p\delta p/\Delta T$ [ΔT — разность температур между поверхностями] от отношения H/p для азота (внизу).

лекулярного взаимодействия, так и взаимодействия молекул со стенкой.

Эффектом Скотта называется вращение окруженного молекулярным газом немагнитного цилиндра в магнитном поле,

направленном по его оси. Величина момента сил, вызывающего вращение цилиндра, определяется касательным напряжением, связанным с возникающим в поле кольцевым потоком газа вокруг цилиндра. Направление этого потока газа и направление закручивающего цилиндра момента сил изменяются на обратное при изменении направления поля на противоположное. Кольцевой поток, появляющийся при промежуточных давлениях, обусловлен радиальной неоднородностью градиента температуры (а не самой температурой) в газе между нагретым цилиндром и стенкой камеры. Исследования показали, что эффект Скотта, как и другие рассмотренные эффекты, может быть объяснен на основе прецессионного механизма, но с учетом несферичности лишь межмолекулярного взаимодействия.

Мы рассказали лишь о некоторых достижениях при исследовании нового класса кинетических явлений в молекулярных газах. Большинство из описанных результатов получено советскими учеными. В настоящее время опубликованы сотни (более 500) работ, посвященных влиянию поля на неравновесные процессы в молекулярных газах. Достигнутое понимание закономерностей и механизмов таких эффектов послужило основой для создания современной кинетической теории (как классической, так и квантовой) молекулярных газов.

Качественно новый уровень такой теории подтверждается предсказанием и описанием других новых явлений, в том числе явления столкновительной поляризации молекул в сверхзвуковом сопле, явления двойного лучепреломления в вязком потоке газа и в неравновесном свободномолекулярном газе. На основе развитой теории были рассмотрены ЯМР- и ЭПР-релаксации в газах, исследованы деполаризованное рэлеевское рассеяние света, влияние ядерного спина на диффузию в газе, молекулы которого содержат разные ядра-изомеры. В результате исследования влияния поля на тепловой поток в свободномолекулярном газе были предложены механизмы несферического рассеяния молекул на поверхности, установлено неизвестное ранее свойство — магнитное упорядочение в двумерном слое хемосорбированных частиц на поверхности металла. Приведенные результаты свидетельствуют о создании принципиально новых подходов к исследованию как молекулярных газов, так и свойств поверхности твердых тел.

Ахалтекинцы: наследство, за которое мы в ответе

В. Б. Ковалевская



Вера Борисовна Ковалевская, кандидат исторических наук, младший научный сотрудник Института археологии АН СССР. Работает над применением математики в археологии, специалист по археологии Северного Кавказа эпохи переселения народов. Книги: *Конь и всадник, пути и судьбы*. М., 1977; *Поясные наборы дружинников Евразии IV—IX вв. Пряжки*. (Свод археологических источников). М., 1979.

Конские породы, существующие в нашей стране, достаточно многообразны: здесь и небольшие, с косматой гривой, степные лошади, которые попали в Европу во время гуннского, а на Русь — во время монголо-татарского нашествия; и низкорослые мохнатые лошади северных лесов, как бы сошедшие с росписей палеолитических пещер; и известные всему миру породы орловских рысаков и английских верховых чистокровных, арабских и тракененских, донских и недавно выведенных буденновских и терских лошадей. Однако эталоном коня является царственный ахалтекинский скакун.

В этой статье речь пойдет о древнейшей ахалтекинской породе, ее истории, судьбе и значении. Сейчас это особенно важно, потому что за последнее столетие она не раз оказывалась под угрозой гибели¹. Только благодаря заложенной в ней генетической силе и борьбе людей за ее сохранность ахалтекинцы (названные так по имени туркменских племен ахал и теке) не пополнили число наших безвозвратных потерь, каковой является, к примеру, великолепная верховая орловско-ростоп-

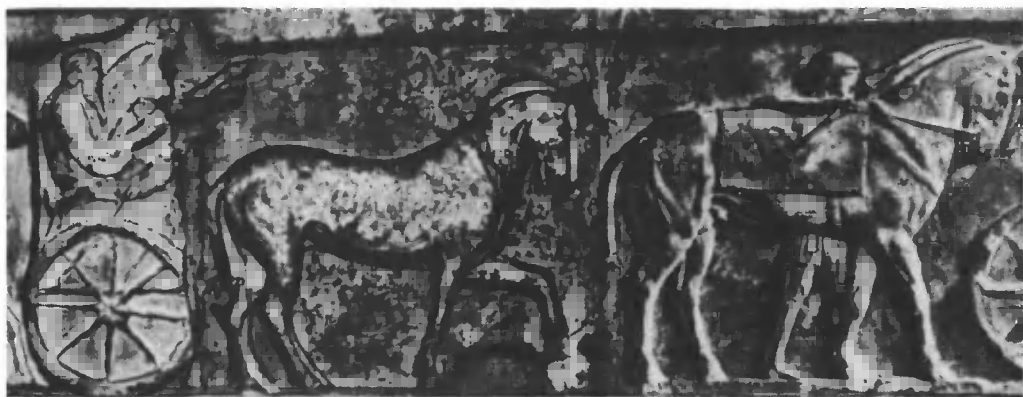
чинская порода лошадей — краса и гордость русского коннозаводства XIX в.

Материал, позволяющий нам воссоздать древнюю историю ахалтекинской породы, весьма специфичен. Нам известны характеристики современного ахалтекинца, выведенного в заводских условиях, или среднеазиатского аргамака недавнего прошлого: экстерьер, основные промеры, масти, резвость, выносливость, рекорды на дальние и ближние дистанции. Но отправной точкой сопоставления является остеологический материал: сравнительная ширина лба, тонконогость, рост в холке, т. е. данные, имеющие количественные характеристики. С определенной долей вероятности они дают представление о внешнем виде, степени пригодности лошади к верховой езде. Обширный иконографический материал — скульптурные, живописные, графические изображения древних лошадей у разных народов — дает возмож-

Изображение ахалтекинцев на Ксанфском рельефе (V в. до н. э.) Эрмитаж.

¹ См., напр.: Горелов К. Ахал-текинское коневодство Туркменской ССР. Ашхабад, 1928; Рябова Т., Лапшина Н. — Коневодство и конный спорт, 1978, № 6, с. 8.

Деталь новгородской иконы XV в. «Флор и Лавр». На Руси эти святые считались покровителями лошадей. Кони напоминают среднеазиатских аргамаков.





Всадник из Пазырыка (V в. до н. э.). Лошадь напоминает ахалтекинца. Тегеранский музей.

ность сопоставления экстерьера, масти, роста и т. д.

В письменных источниках сохранились предания о происхождении лошадей, сведения о торговле ими или об экспедициях за ними.

ЭКСТЕРЬЕР

Голова у него точеная: легкая, сухая, небольшая с прямым профилем или реже горбоносая. Глаза большие, строгие, горящие огнем, иссиня-черные. Шея длинная, тонкая, с хорошим лебединым изгибом, иногда — оленья, с кадыком. Специфична вертикальная постановка шеи, которая по отношению к голове образует острый угол, что создает неповторимую красоту этой породы, широкий и длинный затылок. Уши ахалтекинца небольшие, красиво вырезанные, всегда в движении. Холка высокая, спина длинная, несколько мягковатая.

Длиной линий эта лошадь напоминает старинные гравюры первых чистокровных лошадей в Англии и верховых орловских коней в России начала XIX в. Конечности сухие, с хорошо отбитыми сухожилиями, с длинными бабками, довольно большими копытами правильной формы, но иногда низкопятыми, приспособленными к движению по сыпучим пескам. Летом у коней всегда блестящий короткий волос, зимой

он — если лошадь содержится в неотапливаемой конюшне — бархатно-густой, «соболиный».

Ахалтекинцы в основном золотисто-гнедые и золотисто-буланые — масти, редкие в других породах. Реже встречаются золотисто-соловые и изабелловые, а также лошади обычных — серой, вороной и рыжей — мастей.

Другой особенностью ахалтекинских лошадей является красота их движений. Лошадь как бы самой природой создана для выездки, конного спорта, экспедиций и верховых прогулок: мягкие, легкие, летящие движения на широкой рыси, плавный стелющийся галоп, настильные и могучие прыжки и при этом поворотливость, энергичность, удивительно тесный контакт с всадником. И в античности, и в средние века не было быстрее, выносливее, вернее своему хозяину, не требующей много корма лошади, незаменимой в дальних военных походах. «Они выносят труды невероятные, — писал Н. Н. Муравьев о туркменских конях в начале XIX в. — Хивинцы и туркмены, отправляющиеся на разбой в Персию, обыкновенно ездят 8 дней сряду по 120 верст в сутки по безводным степям; лошади их бывают по 4 дня без воды, а другой пищи не имеют, кроме 5-ти или 6-ти пригоршен джогану»².

ПРОИСХОЖДЕНИЕ

Археологические раскопки последних десятилетий на Украине удревели историю одомашненного коня на 1,5—2 тыс. лет. Сейчас мы знаем, что именно в наших причерноморских степях в IV тыс. до н. э. лошади впервые оказались в подчинении у человека, чтобы на все последующее время стать его незаменимым другом и помощником. В то время возник культ коня, типичный для мифологических представлений ранних индоевропейцев. Находка полного скелета в среднестогов-

² Муравьев Н. Путешествие в Туркмению и Хиву в 1819 и 1820 годах гвардейского и генерального штаба капитана Николая Муравьева, посланного в эти страны для переговоров. Часть I. М., 1822, с. 84.

Ахалтекинец в традиционной туркменской сбруе, которая являлась не только украшением, но и защищала лошадь от ударов сабли.

Фото А. С. Шторца





Вороной ахалтекинец Михтан-Гирей в леваде.

ской культуре (III—II тыс. до н. э.) на Донце позволила восстановить внешность коня: довольно крупного (144 см в холке), стройного, близкого к тарпану, обладающего рядом морфологических признаков одомашненного животного. Для III тыс. до н. э. коневодство и культ коня документированы в Причерноморье, и — предположительно — они развивались в степях Азии. Именно от евразийских степняков коневодство проникло во II тыс. до н. э. (а возможно, и раньше) в Среднюю Азию. Исследования палеозоолога В. И. Цалкина показали, что в Южной Туркмении коневодство существовало во II тыс. до н. э. именно в тех местах, которые позднее славились ахалтекинцами. Трактат Киккули XIV в. до н. э. о тренинге хеттских колесничных лошадей в Малой Азии³ показал, что ряд элементов тренинга находит аналогии в подготовке к состязаниям туркменскими тренерами (сеизами) ахалтекинцев в XIX в. Причем последние исследования остеологического материала из Египта показали, что уже в середине II тыс. до н. э. существовал крупный стройный, быстроногий скакун достаточно длинных линий (т. е. по экстерьеру близкий ахалтекинцу или же английской чистокровной).

Слава среднеазиатских «сверхъестественных» коней восходит уже к I тыс. до н. э. Их не могли обойти своим вниманием античные и восточные авторы, их пытались захватить персидский царь Кир, Александр Македонский и китайские императоры, посылавшие военные экспедиции в страну «Вечерней Зари» за даваньскими аргмаками. А Геродот так писал о кочевавших в азиатских степях массагетах: «Из богов чтут только солнце, которому приносят в жертву лошадей. Смысл этой жертвы таков: быстрейшему из богов они посвящают быстрейшее из всех смертных животных»⁴

По экстерьеру на ахалтекинцев похожи изображения лошадей на знаменитой Чертомлыцкой вазе, хранящейся в Эрмитаже, и на пекторали из не менее знаменитой Толстой Могилы. Это породистые, нарядные верховые кони на тонких ногах, с изящными головами, с крутой, хорошо поставленной шеей. Отечественная наука получила уникальные материалы из Пазырыкских курганов на Алтае (V в. до н. э.), где в вечной мерзлоте сохранились рыжие без отметин крупные кони вождя — «это благородная верховая лошадь древности, боевой конь Средней Азии, увековеченный в изображениях великих мастеров Ассирии, Египта и Эллады»⁵. Позднее, по мере переселения сармато-алан на запад из Приаралья, изображения ахалтекинцев появля-

³ См.: Ковалевская В. Б. Конь и всадник, пути и судьбы. М., 1977.

⁴ Геродот. История в девяти книгах. Л., 1972, с. 216.

⁵ Витт В. О. Лошадь Древнего Востока.— В кн.: Конские породы в Средней Азии. М., 1937, с. 24.



Выездка ахалтекинца Домбая, сына знаменитого Абсента.

ются на стенных росписях в склепах Неаполя Скифского и Керчи.

Арабы, нападая на соседние страны, обычно воевали на верблюдах. В Иране, на Кавказе и в Средней Азии они впервые столкнулись с «соперниками ветра». Арабский географ IX в. Ибн-Хордадбех пересказал старинную легенду о том, как в горах Средней Азии во время водопада ежедневно среди табуна появлялся прекрасный «сверхъестественный» жеребец, под утро исчезающий в водах источника, как рождались жеребята «крупные, превосходные, красивые станом. И поймали арканом одного из жеребят и, оседлав его, объездил. И он точно летал между небом и землей, послушный узде, легкий в беге»⁶.

АХАЛТЕКИНСКИЕ КОНИ НА РУСИ

Восточные лошади — «фари» и «скоки» — попадали на Русь еще до монголо-татарского нашествия. Иван Грозный называл себя охотником «до аргамаков до жеребцов добрых». Персидские и азиатские кони стоили в десятки раз дороже «отборных ногайских». Пожар 1737 г., в огне которого погиб весь конюшенный архив, не позволяет определить динамику численности поголовья восточных коней на Руси,

что могло бы послужить основанием для вычисления поголовья на их родине.

Еще при графе А. Г. Орлове-Чесменском, с именем которого связано выведение породы прекрасных орловских рысаков, на конный завод Остров под Москвой попали азиатские жеребцы Шах и Дракон, причем кличка Дракона свидетельствует и о его характере, о том своеобразном впечатлении, какое вызывает огненный, гибкий, свивающий шею в кольцо ахалтекинский жеребец. От этих основателей породы происходит прославленный Фелькерзам 2 и Яшма 1 и гнездо маток, родоначальниц породы — Огромная, Яшная, Залетная, Задумчивая и Диана. Несколько позже Орлов перешел к созданию верховой породы. Для этого — наряду с упомянутыми восточными жеребцами — был использован бурый конь Салтан 1, подаренный Екатерине II турецким султаном при заключении мира в Кучук-Кайнарджи и пожалованный ею Орлову. По предположению исследователей, это жеребец восточного типа из конюшен турецкого султана. В 20-е годы XIX в. в страны Средней и Передней Азии почти ежегодно направлялись экспедиции за лошадьми. Даже А. С. Грибоедов перед своей трагической гибелью в Персии смог купить и переслать в Россию группу ценных жеребцов. В результате таких экспедиций в Россию попадали, конечно, не сотни, даже не десятки коней, но зато первокласснейшие. В это же время на лучших конных заводах Закавказья основными производителями были туркменские жеребцы, а в России в 1937 г. 35—40% производителей составляли текинские, бухарские, туркменские кони.

⁶ Беленицкий А. М. — Сов. этнография, 1948, № 4, с. 163.



Азатекинец Кара-Кум (по-туркменски — Черная птица).

Соловая масть с золотым отливом — отличительная черта туркменских азатекинцев.

Плавный стелющийся галоп, нестильные и могучие прыжки, удивительно тесный контакт со всадником — качества азатекинцев, особенно ценные в конном спорте.

Фото А. С. Шторха.





По подсчетам Витта, всего было 1822 лошади.

Сейчас нам трудно определить поголовье ахалтекинцев в Туркмении XIX — начала XX вв. Они никогда не содержались в табунах. Но у каждой черной войлочной палатки туркмена всегда на приколе стоял под несколькими кошмами жеребец, а где-нибудь в отдалении паслась кобыла с жеребенком, ибо, как говорит туркменская пословица, «если имеешь один день жизни — был бы конь, если имеешь два дня жизни — была бы жена».

Со второй половины XIX в. интерес к ахалтекинцам в России резко снизился, так как для улучшения породы начали использовать английских чистокровных жеребцов. Вновь «открыли» ахалтекинцев лишь в самом конце XIX в., когда начальник Закаспийской области А. Н. Куропаткин создал в 1896 г. комиссию для определения состояния коннозаводства, которое сам он оценил как «упадочное», желая — внимательным уходом и обильным кормлением — «воскресить в полном блеске первобытный тип ахалтекинской чистокровной лошади». В 1899 г. недалеко от Ашхабада в Кеши была создана первая областная заводская конюшня с 16 первоклассными ахалтекинскими жеребцами. Через 10 лет ахалтекинцы впервые были выставлены на сельскохозяйственной выставке в Ташкенте, еще через 3 года — в Пятигорске, а в 1913 г. — в Киеве, где всю их партию хотели закупить в Германию. Об ахалтекинцах заговорили.

В 1914 г. глава русского коннозаводства Н. Б. Щербатов предложил ряд действенных мер по сохранению ахалтекинской породы. В 1915 г. должна была быть создана государственная конюшня на 60 жеребцов и рассадник для 40—50 кобыл; предлагалось ввести для поощрения частного коннозаводства денежные премии, создать с помощью местных любителей, тренеров и владельцев племенные книги — единственное «существенное мероприятие. Прочие, в связи с началом первой мировой войны, остались проектами. Тем не менее некоторые усилия Щербатова имели успех: уже в 1916 г. удалось освободить от мобилизации 643 ахалтекинских коня. Но отсутствие кормов, использование ахалтекинцев в подворном хозяйстве, появление английских чистокровных производителей вело породу к гибели и растворению в других. Дальнейшие события усугубили дело. В 1919 г. белые эвакуировали на Кавказ большую группу лошадей, только часть которых была впоследствии возвра-

щена в Россию. В 1923 г. государственной рассадник Махтум-Кала, в производящем составе которого было в 1915 г. 20 жеребцов и 41 кобыла, был слит с рассадником Кеши. На этой базе был организован Государственный Ашхабадский конный завод № 69, в котором на 1 октября 1926 г. было 70 лошадей. Там было начато выведение основных линий современных ахалтекинцев.

Старый подворный способ содержания лошадей закончился, а с ним закончился длительный этап такого выведения породы, который обеспечивал одновременно и воспроизводство, и экспорт. Порода при этом, конечно, развивалась, но коневодство окупало себя только благодаря хорошо налаженному сбыту, который в 20-х годах резко сократился, в результате чего была свернута и племенная работа. Была для этого и еще одна причина: исчезла основная цель разведения лошади — набеги, что в свое время стимулировало развитие породы, ибо для подобного рода действий необходимы были резвость и выносливость. Экономически содержать ахалтекинцев становилось невыгодно и неперспективно.

Создание государственных конных заводов и работа по единому плану на коневодческих фермах были единственным путем совершенствования и развития породы. В 20—30-х годах чистопородных ахалтекинцев разводили только в Туркмении и в Казахстане на Джамбульском конном заводе. За 30-е годы все поголовье было учтено, что дало возможность проводить селекционную работу по единому плану. Но в связи с тем, что для нужд кавалерии основные заводы перешли на производство полукровных лошадей или лошадей, улучшенных английскими чистокровными, положение ахалтекинцев все еще было не из лучших.

В военное и послевоенное время поголовье ахалтекинцев резко снизилось — часть лошадей попала на фронт. В 1950—1952 гг. в производящем составе находилось около 600—650 лошадей с резким падением процента чистопородных. На грани гибели ахалтекинцы оказались к концу 50-х годов. Так, в 1954 г. Ашхабадский завод был реорганизован, и цветущий оазис с поливной люцерной превратился в пустыню (процесс, уже необратимый), а изголодавшиеся кони перестали давать и выкармливать потомство. Также необоснованно в 1955 г. был расформирован Джамбульский завод⁷, который за свое четвертьвековое существование сумел соз-

дать в более суровых климатических условиях группу массивных, костистых, глубоких, крупных, хорошо приспособленных к выпасу чистопородных текинцев, небольшое количество которых удалось сохранить на Луговском конном заводе (лучшие джамбульские лошади пропали), куда они были переданы в том же 1955 г., и где, в частности, вырос знаменитый Абсент.

Ахалтекинскую лошадь стали готовить для использования в конном спорте и производить на экспорт, так как еще до войны проявился высокий класс лошадей этой породы — достаточно вспомнить отца Абсента — Араба-Казбека, который участвовал в пробеге Ашхабад — Москва, проявлял хорошие способности в выездке, в 17 лет прыгнул в высоту на 2 м 12 см, установив всесоюзный рекорд. Когда сотрудники Всесоюзного научно-исследовательского института коневодства проанализировали результаты использования лошадей различных пород в конном спорте за 1960—1974 гг. по специальной дифференцированной и хорошо продуманной программе, то выяснилось, что ахалтекинцы вместе с тракенами опережают по своим результатам лошадей всех других пород. Причем в некоторых видах спорта, например в выездке, англотекинцы занимают первое место. Еще далеко не раскрыты их возможности в прыжках — ведь до сих пор испытания производятся только в скачках на ипподроме. Лишь в двух хозяйствах количество кобыл подходит к сотне: это конный завод «Комсомол» близ Ашхабада (именно здесь должен быть создан заказник ахалтекинцев) и совхоз «Дагестанский» (ранее «Губденский»).

Тем не менее этим лошадям пришлось пережить немало трудностей. С 1957 г. они составляли особое отделение на Терском заводе (Северный Кавказ). Чуть более десятилетия молодняк подрастал на привольных кормах и в хорошо налаженных условиях между горами Змейка и Железная. (Ведь это был еще завод Строганова, первый завод арабских лошадей в России, созданный для них, который и должен был остаться основным заводом для их разведения.) Оттуда вышли первоклассные жеребцы — Гелишикли, Факир-Пельван, Посман, Юлдуз, сын Абсента — Аметист. Однако впоследствии их перевели в Дагестан, где не было ни теп-

лых конюшен, ни помещения для персонала. Правда, было море для купанья лошадей, много песка, от которого у них блестит шерсть. Но ведь главное — корма, а трава в тех краях высыхала уже в июне, да и не было своих выпасов. Кони были переданы плодовоовощному совхозу «Губденский», недалеко от Каспийска, где не было ни поливного земледелия, ни традиций коневодства, где было плохо с овсом, ячменем, люцерной, даже соломой. До сих пор положение с кормами не нормализовалось, потому что в последние годы на Кавказе засушливое лето. Строительство конюшен едва началось, и, попадая на Московский аукцион или ипподром, лошади должны долго отъедаться. При этом они сохраняют изящество и благородство форм, но ценой каких усилий! В этом году встал вопрос о передаче всей этой группы ахалтекинцев в Ставропольский конный завод, зарекомендовавший себя первоклассным ведением хозяйства, прежде всего — конного. На поливных землях этого завода растет люцерна, которую, по старым рецептам, сушат зеленой, подвязывают снопиками в темном помещении и кормят лошадей с руки. Зерновых на Ставропольском заводе всегда собирают много, да и терским лошадям ахалтекинцы не станут в тягость. Весь вопрос в том, захочет ли Дагестан расстаться с ахалтекинцами. Однако в любом случае стоит помнить, что удивительный, константный тип их должен получить возможности для развития, так как эта древнейшая в мире порода является гордостью Средней Азии и страны в целом. Потерять ее было бы пресуплением не только перед наукой.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Витт В. О. ЛОШАДЬ ДРЕВНЕГО ВОСТОКА.— В кн. Конские породы Средней Азии. 1937.

Горелов К. АХАЛ-ТЕКИНСКОЕ КОНЕВОДСТВО ТУРКМЕНСКОЙ ССР. Ашхабад, 1928.

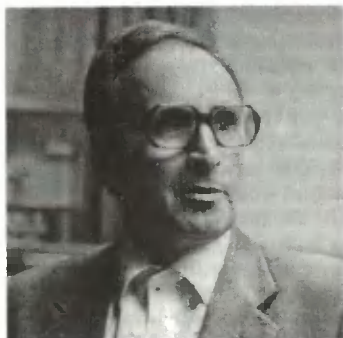
Ковалевская В. Б. КОНЬ И ВСАДНИК, ПУТИ И СУДЬБЫ. М.: Наука, 1977.

Кузьмина Е. Е. РАСПРОСТРАНЕНИЕ КОНЕВОДСТВА И КУЛЬТА КОНЯ У ИРАНОАЗЫЧНЫХ ПЛЕМЕН СРЕДНЕЙ АЗИИ И ДРУГИХ НАРОДОВ СТАРОГО СВЕТА.— В кн. Средняя Азия в древности и средневековье. М.: Наука, 1977.

⁷ Белоголов М. И.— Известия АН ТуркмССР, 1956, № 6, с. 50.

Гибридные ядерные реакторы и мюонный катализ

Ю. В. Петров



Юрий Викторович Петров, кандидат физико-математических наук, заведующий сектором физики реакторов Ленинградского института ядерной физики им. Б. П. Константинова АН СССР. Работает в области нейтронной физики и физики реакторов. Один из авторов проектов исследовательских реакторов ВВР-М и ПИК.

В 1912 г. в своей книге «Материя и энергия» Фредерик Содди писал: «Рано или поздно — но, разумеется, не в бесконечно отдаленном будущем — на Земле для пополнения естественного расходования энергии не останется ничего, кроме первоначальных запасов атомной энергии...». По мере истощения одних природных источников энергии (нефть) и экологических трудностей при использовании во все возрастающем масштабе других (уголь) пророческие слова Содди становятся все более актуальными. Сейчас уже общепризнано, что окончательное решение энергетической проблемы невозможно без использования внутриядерной энергии¹. Ниже рассказывается как о традиционных методах, так и о надеждах на новые пути получения этой энергии.

АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Вначале напомним, почему ядерному топливу отводится в будущем ведущая роль.

Одно из главных преимуществ ядерной энергии перед химической — ее высо-

кая концентрация на единицу веса топлива. При делении ядра урана выделяется энергия ядерного масштаба: 200 МэВ, или 0,85 МэВ/нуклон; в химической реакции горения ($C + O_2 \rightarrow CO_2$) — энергия атомного масштаба: всего 0,3 эВ/нуклон для условного топлива (7 ккал/г), даже без учета массы O_2 . Это означает, что 1 г разделившегося урана² эквивалентен 3 т сгоревшего угля, т. е. уран — практически невесомое топливо. При замене угля ураном во много раз уменьшаются расходы на перевозку топлива и освобождается значительное количество транспортных средств.

Благодаря высокой удельной концентрации энергии, уран — один из самых дорогих металлов — оказывается также наиболее дешевым топливом в мире. Сейчас разрабатываются месторождения, где в 1 г руды содержится более 10^{-3} г урана. Если в реакторах на тепловых нейтронах использовать лишь 1% естественного урана, то и в этом случае запас энергии в такой руде будет в 30 раз больше, чем в угле наивысшего качества. В пересчете на единицу энергии это в десятки раз сокращает объем горнодобывающих работ, их стоимость и

¹ Подробнее см.: Легасов В. А., Кузьмин И. И. Проблемы энергетики. — Природа, 1981, № 2, с. 8.

² Расход делящегося изотопа урана при этом оказывается несколько выше из-за паразитного поглощения нейтронов, не приводящего к делению.

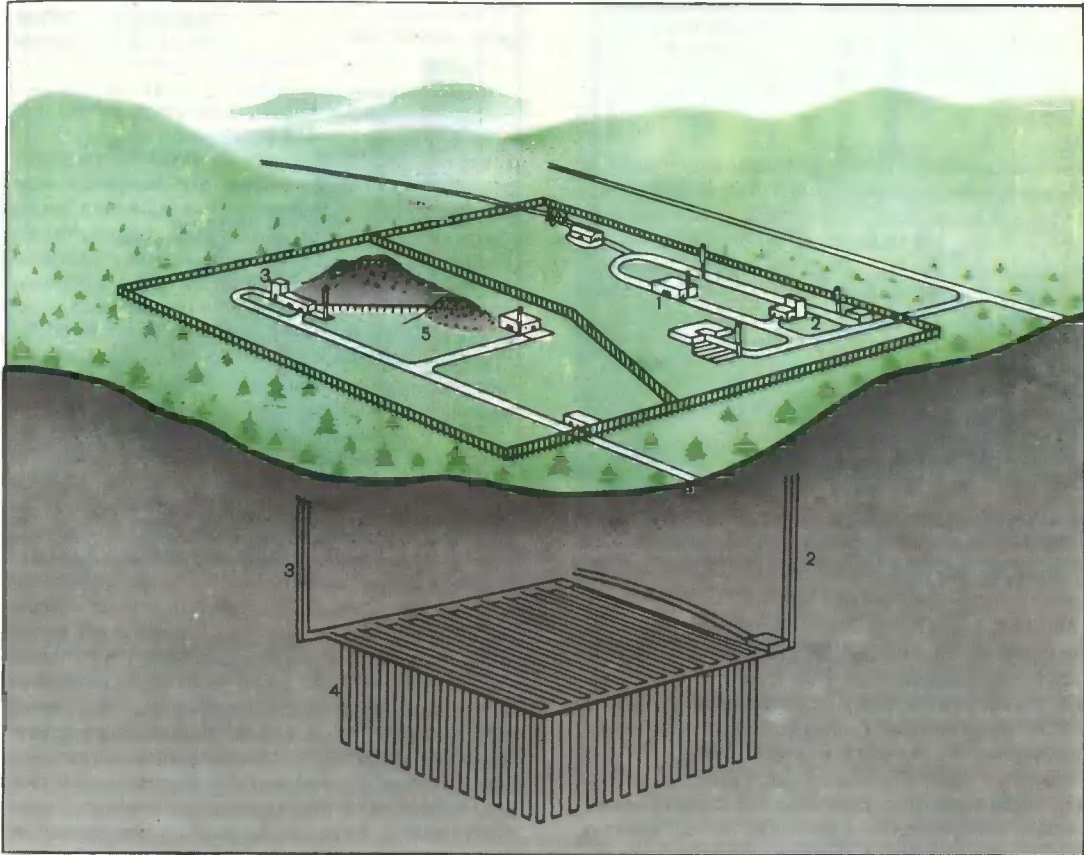
Таблица 1

Стоимость производства электроэнергии в 1978 г. в США (в центах за кВт · ч)

Атомные электростанции	1,5*
Электростанции на твердом топливе	2,3
Электростанции на жидком топливе	4,0

* Стоимость электроэнергии в 1976 г. в СССР на Нововоронежской АЭС составляла 0,6 коп. за кВт · ч.

воздействие на окружающую среду. Несмотря на то что последующее обогащение урана и изготовление тепловыделяющих элементов для обычных реакторов на тепловых нейтронах повышают стоимость топлива по сравнению с исходным сырьем примерно вдвое, расходы на топливо оказываются лишь небольшой долей стоимости электроэнергии, вырабатываемой на атомных электростанциях (АЭС). Для легководных реакторов они составляют 20% стоимости одного кВт · ч электроэнергии, при капитальных и эксплуатационных затратах

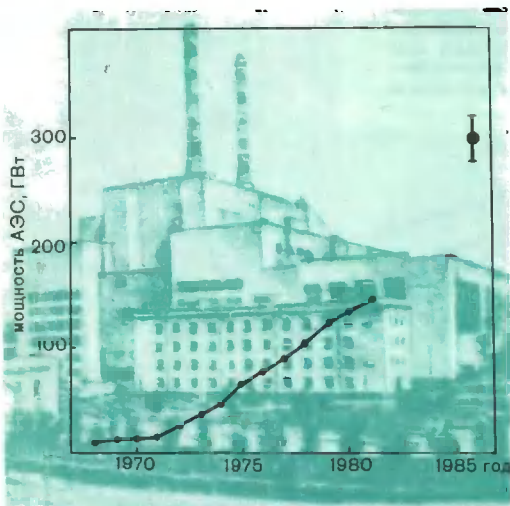


Схематическое изображение наземных сооружений хранения радиоактивных отходов в скальном грунте (вверху) и самого хранилища (внизу): 1 — прием твердых отходов, 2 — вентиляционная шахта и здание хранилища, 3 — вентиляционная шахта и здание буровых работ, 4 — скважины хранилища, 5 — выработанный порода.

70% и 10% соответственно. В результате, даже несмотря на более высокие капитальные затраты, стоимость производства электроэнергии на АЭС существенно ниже, чем на станциях, работающих на угле и мазуте. Повышение цен на уран даже в несколько раз лишь незначительно изменит стоимость электроэнергии на АЭС, в то время как на обычных тепловых станциях она практически следует за изменением цен на нефть и уголь.

Благодаря замкнутому циклу циркуляции теплоносителя и отсутствию его контактов с атмосферой, АЭС в меньшей степени влияют на окружающую среду, чем станции на химическом топливе эквивалентной электрической мощности³. К примеру, с углем, добываемым для тепловых электростанций, извлекается на поверхность для работы АЭС той же мощности (уголь в среднем содержит $0,8 \cdot 10^{-4}$ г/г урана⁴).

За 25 лет существования АЭС убедительно продемонстрировали свою безо-

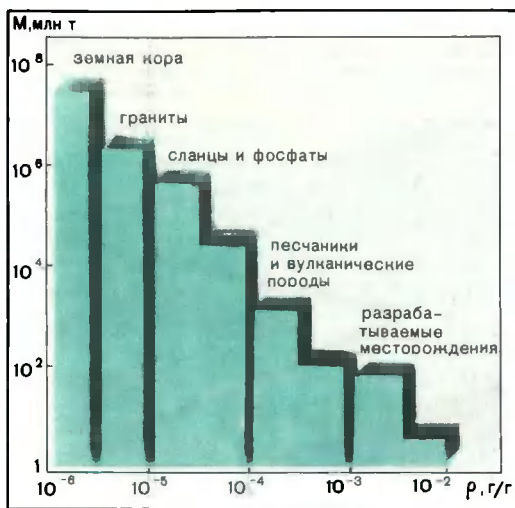


Рост суммарной мощности АЭС в мире. К началу 1980 г. мощность АЭС составляла 6% мировой, и они производили около 8% всей электроэнергии. Указан прогноз на 1985 г.

пасность. Единственная за все это время крупная авария на электростанции близ Гаррисберга (США) не привела к каким-либо серьезным последствиям для окружающего населения и персонала⁵. Что же касается радиоактивных отходов, то сейчас разрабатываются способы их остекловывания и захоронения в выработанных шахтах. Найденные в Окло (Габон) остатки естест-

венного ядерного реактора, работавшего около 2 млрд лет назад, показывают, что даже без специальных мер предосторожности радиоактивные продукты в основном сохраняются на месте и нигде не мигрируют⁶. Таким образом, как при добыче, так и при получении тепла и удалении отходов, уран оказывается наименее влияющим на окружающую среду топливом.

Преимущества ядерной энергетики привели к стремительному росту числа АЭС в мире. За последнее десятилетие их суммарная мощность увеличилась в 10



Зависимость мировых ресурсов урана (M) от его концентрации (ρ) в руде. Из рисунка видно, что использование бедных руд резко повышает ресурсы урана.

раз и к началу 1980 г. достигла внушительной цифры — 130 ГВт (эл). В развитых странах АЭС дают уже более 10% всей электроэнергии, и эта доля быстро растет. Атомные реакторы планируется использовать и для обогрева жилищ, и для получения искусственного химического горючего, для опреснения воды и т. д. Предполагается, что в недалеком будущем ядерное топливо в сочетании с углем примет на себя основную тяжесть снабжения человечества энергией.

Каковы же запасы ядерной энергии деления?

Ответ на этот вопрос зависит как от степени использования урана в реакторах,

³ Подробнее см.: Бабаев Н. С., Демин В. Ф., Кузьмин И. И., Степанчиков В. И. Экологические проблемы атомной энергетики. — Природа, 1978, № 10, с. 3.

⁴ Добродеев О. П. Техногенез — мощная геохимическая сила биосферы. — Природа, 1978, № 11, с. 88.

⁵ Об аварии на АЭС в Гаррисберге см.: Бабаев Н. С., Кузьмин И. И., Легосов В. А., Сидоренко В. А. Проблемы безопасности на атомных электростанциях. — Природа, 1980, № 6, с. 30.

⁶ Подробнее см.: Петров Ю. В. Естественный ядерный реактор в Окло. — УФН, 1977, т. 123, вып. 3, с. 473.

Таблица 2

Удельный запас энергии в различных частях земных недр

Топливо	Реакция	Исходный изотоп	Концентрация изотопов в естественной смеси, г/г	Энергия на нуклон, МэВ/н	Местонахождение	Концентрация элемента, г/см ³	Удельная теплотворная способность, МДж/см ³
Ядерное	деление	²³⁸ U + ²³⁵ U	1	0,84	земная* кора	$1,0 \cdot 10^{-3}$	0,82**
	синтез	d + d	$3 \cdot 10^{-4}$	0,90	вода океанов	0,11	2,9
		d + t	⁶ Li	$6,5 \cdot 10^{-2}$	2,9	земная* кора	$1,8 \cdot 10^{-4}$
Химическое	горение $C + O_2 \rightarrow CO_2$	¹² C	1	$2,4 \cdot 10^{-7}$	угольные пласты	1,4	$3,2 \cdot 10^{-2}$

* На глубину 16 км с удельным весом 2,8 г/см³.** С учетом ресурсов тория: 3 МДж/см³.

так и от стоимости уранового концентрата, при которой его извлечение из исходной руды все еще выгодно. Обычные реакторы на тепловых нейтронах потребляют, в основном, изотоп ²³⁵U (около 0,7% в естественной смеси изотопов урана). Он делится под действием нейтронов любой энергии, даже тепловой. Если ориентироваться только на такие реакторы, то оказывается, что разведанных запасов урана недостаточно для долговременного обеспечения человечества энергией.

Кардинальным решением сырьевой проблемы было бы использование основного изотопа ²³⁸U (99,3% в естественной смеси) путем его переработки в изотоп плутония ²³⁹Pu, который уже пригоден для цепной реакции. При этом запасы увеличились бы не просто в 100 раз, а несоизмеримо больше за счет вовлечения в энергетику более бедных руд. Оказывается, чем беднее руда, тем ее в природе больше. В частности, в рудах с концентрацией урана в 10 раз меньшей, чем в разрабатываемых сейчас, ресурсов урана в 100—300 раз больше. При высокой степени использования урана можно утверждать, что ресурсы его практически неограниченны⁷.

Сравним теперь потенциальные ресурсы энергии деления и синтеза. При слиянии двух ядер дейтерия — в так называемой dd-реакции — выделяется 3,6 МэВ.

В пересчете на 1 нуклон это составляет 0,9 МэВ, т. е. примерно столько же, сколько при делении. В естественной смеси изотопов водорода около 0,015% дейтерия. Следовательно, 1 см³ воды содержит $3,3 \cdot 10^{-5}$ г/см³ дейтерия и обладает запасом ядерной энергии в 3 МДж. Последующие реакции продуктов dd-синтеза могут еще в несколько раз увеличить удельный выход энергии, однако для этого нужны очень сложные и громоздкие установки, и здесь мы такую возможность рассматривать не будем.

Средний удельный запас энергии деления рассеянного в земной коре урана (при полном его использовании) составляет 0,8 МДж/см³. Таким образом, потенциальная энергия синтеза, содержащаяся в воде, сравнима по величине с энергией деления в равном объеме земной коры. (Заметим, что эта энергия в десятки раз превышает удельную теплотворную способность угля: $3 \cdot 10^{-2}$ МДж/см³. Обычная земля, по которой мы ходим, представляет собой, в сущности, богатейшее месторождение топлива.)

Кроме синтеза ядер дейтерия, возможен еще синтез ядер дейтерия и трития с выделением энергии 17,6 МэВ. При одной и той же энергии вероятность такой реакции, благодаря наличию ядерного резонанса, в десятки раз выше вероятности dd-реакции. Поэтому для dt-реакции выполнить условие получения положительного выхода энергии (так называемый критерий Лоусона) гораздо легче. В обозримом будущем термоядерный синтез планируется осуществить именно в смеси дейтерия и трития.

⁷ Duffey K. S., MacGregor I. D. World uranium resources. — Sci. Amer., 1980, v. 242, № 1. Полунто интересно отметить, что примесь урана в угле несет в себе запас ядерной энергии, в 300 раз превышающий химическую энергию самого угля.

Тритий в природе практически нет — его получают главным образом в реакции захвата нейтрона изотопом лития: ${}^6\text{Li} + n \rightarrow {}^4\text{He} + t$. Поэтому топливные ресурсы dt-синтеза определяются не столько запасами дейтерия, сколько ресурсами лития. В 1 г естественной смеси изотопов лития содержится $6,5 \cdot 10^{-2}$ г/г ${}^6\text{Li}$, а лития в земной коре около $2 \cdot 10^{-4}$ г/см³. Таким образом, в пересчете на литий, в 1 см³ земной коры заключено в среднем около 3 МДж. И так, и в этом случае ресурсы энергии синтеза и деления оказываются одного порядка.

Такая оценка содержания топлива в земной коре позволяет с уверенностью сказать: энергетический голод человечеству не грозит. Широко обсуждаемый энергетический кризис есть кризис современного способа производства энергии, а не ее ресурсов. Однако, чтобы их реализовать, надо либо в промышленном масштабе превращать уран в плутоний, либо осуществить dt-синтез, либо использовать сразу оба метода.

БРИДЕРЫ И ГИБРИДЕРЫ

Существует по крайней мере три способа превращения изотопа урана ${}^{238}\text{U}$ в ${}^{239}\text{Pu}$ путем захвата нейтрона:

— в ядерных реакторах-размножителях на быстрых нейтронах (бридерах),

— в урановой оболочке (бланкете) гибридных термоядерных реакторов нейтронами синтеза,

— при электроядерном бридинге, когда ускоренные до энергии около 1 ГэВ протоны рождают в тяжелой мишени нейтроны, захватывающиеся затем в уране.

Во всех этих случаях выделяется еще и энергия деления изотопа ${}^{235}\text{U}$ быстрыми нейтронами — с энергией выше порога деления (около 1 МэВ)⁸.

Бридеры. В реакции деления, наряду с выделением энергии, происходит образование нейтронов с энергией около 2 МэВ. В обычных реакторах на тепловых нейтронах эту энергию снижают до тепловой (в несколько сот градусов, или примерно 3×10^{-2} эВ) с помощью замедлителей (легкой или тяжелой воды, а также графита).

После этого тепловые нейтроны захватываются ядрами изотопов смеси, причем вероятность их захвата изотопом ${}^{235}\text{U}$ в сотни раз выше, чем изотопом ${}^{238}\text{U}$. Это обстоятельство позволяет использовать в реакторах на тепловых нейтронах относительно дешевое топливо, слабо обогащенное изотопом ${}^{235}\text{U}$ (в тяжеловодных реакторах применяют даже необогащенный природный уран). В свою очередь, изотоп ${}^{238}\text{U}$, захватывая нейтроны, превращается в новое топливо — ${}^{239}\text{Pu}$. Однако паразитное поглощение нейтронов, не сопровождающееся делением, как в изотопе ${}^{235}\text{U}$, так и в ядрах замедлителя и конструкционных материалов приводит к тому, что ядер нового топлива образуется меньше, чем сгорает старого.

В реакторах на быстрых нейтронах — бридерах⁹ — нейтроны захватываются ядрами изотопов смеси быстрыми — с энергией в несколько сот кэВ. В таких условиях вредное поглощение нейтронов, как в самом топливе, так и в конструкционных материалах относительно меньше. В бридере, работающем на плутонии, в каждом акте деления рождается 3 быстрых нейтрона. Это число затем несколько увеличивается за счет деления изотопа ${}^{238}\text{U}$ (служащего сырьем для получения плутония) с помощью нейтронов с энергией, большей пороговой. В среднем немногим более одного нейтрона должно захватываться в плутонии для поддержания цепной реакции и столько же в сырьевом уране для образования нового плутония взамен сгоревшего. С учетом потерь из-за паразитного поглощения в конструкционных материалах бридер может произвести 0,3—0,5 ядер товарного плутония на каждое деление. Тот факт, что эта величина (обозначим ее через ξ) положительна, позволяет, в принципе, организовать расширенное воспроизводство плутония.

Однако $\xi > 0$ — не единственное условие быстрого развития атомной энергетики, базирующейся на плутониевом топливе. Необходим еще и высокий темп накопления этого топлива, т. е. малое время удвоения начальной плутониевой загрузки. Топливо должно интенсивно делиться, и вырабатываемая на единицу его массы мощность должна быть достаточно высока. Поэтому в активной зоне нужно обеспечить высокий удельный съем тепла, причем переносчик

⁸ Еще одним сырьевым материалом для получения ядерного топлива является торий, на 100% состоящий из изотопа ${}^{232}\text{Th}$. Из него можно получать изотоп урана ${}^{233}\text{U}$, расщепляющийся, как и ${}^{235}\text{U}$, нейтронами любой энергии. Однако на сегодняшний день уран-плутониевый цикл более освоен по сравнению с торий-урановым.

⁹ Подробнее см.: К а з а ч к о в с к и й О. Д. Реакторы на быстрых нейтронах в атомной энергетике. — Природа, 1980, № 2, с. 16.

тепла должен еще и слабо замедлять и поглощать нейтроны. Наиболее подходящим теплоносителем, удовлетворяющим таким жестким ограничениям, оказался жидкий натрий. В результате, поскольку охлаждение жидким металлом сложнее и дороже водяного, капитальные затраты на единицу мощности для быстрых реакторов в 1,5—2 раза выше, чем для тепловых. Однако рост цен на естественный уран ведет к тому, что производство энергии и плутония в бридерах станет экономически выгодным. Темп их включения в энергетику будет зависеть от степени использования все более бедных руд (а следовательно более дорогого сырья) для удовлетворения потребностей тепловых реакторов в топливе. В разных странах мира уже давно работают несколько демонстрационных реакторов на быстрых нейтронах, а в СССР в 1979 г. был запущен промышленный энергетический реактор БН-600. Мощность его — 600 МВт, а коэффициент воспроизводства горючего (отношение количества образующегося топлива к сгоревшему) — 1,3 (т. е. $\xi = 0,3$).

Гибридеры. При термоядерном синтезе ($d + t \rightarrow {}^4\text{He} + n$) выделяющаяся энергия распределяется между продуктами реакции обратно пропорционально их массе. На нейтрон приходится около 14 МэВ, что значительно выше пороговой энергии, при которой происходит деление сырьевого изотопа ${}^{238}\text{U}$. Это обстоятельство можно использовать для дополнительного получения энергии и топлива, окружив d -плазму оболочкой из обедненного или естественного урана — бланкета (от англ. blanket — одеяло). Такие реакторы называют гибридными, или, сокращенно, гибридерами¹⁰. Как показывают теоретические оценки и прямые эксперименты, в толстом бланкете из сильно обедненного урана на каждый быстрый термоядерный нейтрон происходит примерно $\delta = 1$ деление и рождается четыре нейтрона с энергией ниже порога деления. Поскольку энергия деления ($E_f = 200$ МэВ) много больше энергии синтеза ($E_s = 17,6$ МэВ), то в бланкете происходит усиление мощности синтеза в $E_f \delta / E_s = 11$ раз. Кроме того, если предположить, что только 15% замедляющихся нейтронов поглотятся в конструктивных материалах, то остальные 85% могут дать еще 3,4 ядра ${}^{239}\text{Pu}$ на каждое деление: один нейтрон идет на производство трития из лития, а

остальные — на получение плутония. Благодаря тому что вторичных нейтронов в такой системе больше (4 вместо 3-х) и нет необходимости тратить их на поддержание цепной реакции, величина ξ для гибридера, равная 2,4, в несколько раз выше, чем для бридера ($\xi < 0,5$). Таким образом, при одинаковой тепловой мощности (т. е. при одинаковом числе делений в секунду) гибридер может производить в несколько раз больше плутония, чем бридер.

Благодаря высокому значению ξ гибридный реактор сможет обеспечить горячим сразу несколько обычных реакторов на тепловых нейтронах. Размножение и генерация топлива в этих реакторах дает дополнительно на каждое загруженное ядро плутония $\psi = 1,6$ делений. В результате, один гибридер может питать топливом $\xi \psi = 4$ тепловых реактора равной мощности. Подобный симбиоз (гибридер + 4 тепловых реактора) позволяет усилить исходную энергию синтеза в $K_s = (1 + \xi \psi) E_f \delta / E_s \approx 50$ раз. Правда, при конструировании реальных систем δ , и соответственно K_s , могут оказаться несколько меньше за счет конечных размеров установок и более интенсивного замедления нейтронов.

Объединение гибридера с реакторами на тепловых нейтронах в единую систему улучшает его экономическую конкурентоспособность. Если затраты на производство электроэнергии для гибридного реактора будут даже вдвое выше, чем для теплового, рост ее себестоимости для всей системы составит лишь 20%, поскольку избыточные затраты разделятся между всеми пятью реакторами¹¹.

Гибридная система позволяет снизить требования к условиям термоядерного синтеза¹². Во многих проектах предполагается его осуществить с помощью пучка частиц

¹¹ С экономической точки зрения энергия, которую производит гибридер, важнее эквивалентного ей по энергезапасу топлива. Для их сравнения общий запас энергии этого топлива еще надо умножить на небольшую долю топливных затрат в цене электроэнергии обычных АЭС. Оказывается, что стоимость энергии и топлива, которые производит гибридер, примерно равны. Поэтому капитальные затраты на его сооружение могут быть вдвое выше, чем в случае, если бы он производил только энергию или только топливо. В будущем цены на распелляющиеся материалы должны вырасти, и производить топливо станет еще выгодней.

¹² Об этом, а также о лазерном методе синтеза см.: Ба с о в Н. Г. Состояние, перспективы и проблемы лазерного термоядерного синтеза в энергетике будущего. — Природа, 1978, № 6, с. 26.

¹⁰ Велихов Е. П., Кадомцев Б. Б., Орлов В. В. — Теплоэнергетика, 1977, № 1, с. 59.

от внешнего генератора. В токамаках¹³ — это ионы дейтерия и трития, необходимые для нагрева плазмы, при лазерном синтезе — фотоны, в других методах инерционного сжатия — быстрые ионы или релятивистские электроны и т. д.

Из баланса мощности для замкнутой системы следует условие на параметры ее установок:

$$QK_s\eta_a\alpha_a\eta_a=1,$$

где Q — коэффициент усиления плазмой

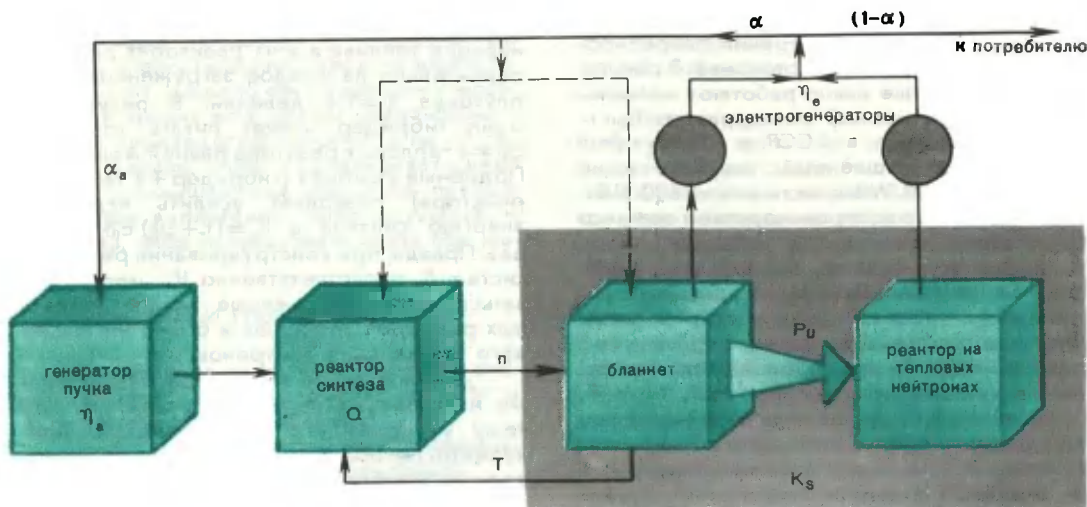


Схема гибридной системы. Поток частиц из генератора пучка направляется в термоядерный реактор синтеза, где происходит реакция $d+t \rightarrow \text{He}+n$ и энергия пучка усиливается в Q раз. Нейтроны (n) попадают в урановую оболочку (бланкет), где производят деление урана, плутоний (Pu) и тритий (T) . Тритий направляется обратно в реактор синтеза, а плутоний поступает в реакторы деления, работающие на тепловых нейтронах. Выделяющееся в бланкете и реакторах деления тепло, превосходящее в K_s раз энергию синтеза, с КПД η_e превращается в электроэнергию. Часть ее $[\alpha]$ идет на собственные нужды системы и, в первую очередь, на питание генератора пучка [доля α_a], преобразующего ее с КПД, равным η_a , в энергию этого пучка частиц. Из баланса мощности для замкнутой системы следует условие на параметры составляющих ее установок: $QK_s\eta_a\alpha_a\eta_a=1$. В электростационарной системе реактор синтеза отсутствует $[Q=1]$, а роль бланкета выполняет урановая мишень, на которую падает пучок быстрых нуклонов.

энергии исходного пучка (за счет dt -реакции); η_e — КПД системы при превращении тепловой энергии, образовавшейся в реакции синтеза, в электрическую; α_a — ее доля, идущая на питание генератора пучка, и η_a — КПД этого генератора. Общий КПД системы, за вычетом доли энергии α , потраченной на собственные нужды системы, есть $\eta_s = \eta_e(1-\alpha)$. Он должен быть достаточно велик, чтобы оправдать затраты на создание самих установок, которые, в конечном итоге, являются тоже затратами энергии. Тогда допустимое значение α_a

должно быть достаточно мало, например меньше 0,15. Тогда при типичных значениях $K_s=50$ и $\eta_e=0,35$ получается следующее ограничение для произведения коэффициента усиления плазмы Q на КПД генератора пучка: $Q\eta_a > 0,4$. Увеличивая K_s , можно ограничиться меньшими Q , т. е. значительно снизить требования к параметрам самой плазмы.

Гибридные системы предлагается использовать в проектах с магнитным удержанием плазмы. В наиболее популярном из них, на основе токамака, предполагается обеспечить значение $Q\eta_a$, существенно большее единицы, так что условие на параметры плазмы будет выполняться с запасом. Если в дальнейшем удастся осуществить режим зажигания ($Q \gg 1$), то в плазме разовьется самоподдерживающаяся реакция, для которой уже не нужно будет подводить энергию извне. Однако использование делящегося бланкета и в этом случае остается выгодным: в системе понижается доля мощности, затраченной на собственные нужды.

¹³ Подробнее см.: Кадомацев Б. Б. Физика токамаков. — Природа, 1979, № 2, с. 21.

Значительное усиление мощности синтеза в гибридной системе делает более реальными и другие проекты осуществления управляемого термоядерного синтеза. Так, при инерционных методах нагрева и удержания плазмы гибридные системы позволяют использовать генераторы пучка с относительно низким значением КПД, а при лазерном синтезе, если, конечно, Q достаточно велико, дают возможность применять лазеры с малым КПД: $\eta_a \approx 0,01$.

Электроядерный бридинг. Этот способ получения энергии и плутония был предложен еще в конце 40-х годов Н. Н. Семеновым в СССР и Е. О. Лоуренсом в США, а несколько позднее В. Б. Льюисом в Канаде.

Его суть в следующем: мишень из обедненного урана облучается протонами с энергией около 1 ГэВ. При столкновении таких протонов с ядрами ^{238}U происходит реакция расщепления. На первом этапе развития внутриядерного каскада часть образовавшихся нуклонов (протонов и нейтронов) имеет большую энергию, а на заключительном этапе (при испарении сильно возбужденного остаточного ядра) основное количество нейтронов вылетает относительно медленными. И все же энергии таких нейтронов достаточно, чтобы вызвать дополнительные деления других ядер ^{238}U . Это приводит к дальнейшему размножению нейтронов, которые после замедления до энергии ниже порога деления могут быть использованы для производства плутония.

Эксперименты, проведенные в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ, Дубна), показали, что на 1 ГэВ энергии исходного пучка протонов, которыми облучается урановая мишень, приходится приблизительно 20 актов деления и примерно 60 нейтронов¹⁴. Если, как и в других методах, удастся использовать 85% этих нейтронов, то при электроядерном бридинге можно получить примерно столько же плутония на деление ($\xi = 2,5$), что и в blankets гибридера. Этим плутонием точно так же можно питать 4 реактора на тепловых нейтронах, увеличив в 5 раз мощность, выделяющуюся в мишени. Общий коэффициент усиления энергии исходного пучка такой системой составляет $K_2 = 20$. Подставляя эту величину в соот-

ношение для параметров системы (значения η_e и α_a те же, что и прежде, а $Q=1$, поскольку в системе отсутствует реактор синтеза), получим, что КПД генератора пучка (ускорителя протонов) η_a должен быть порядка 1. Хотя протонный ускоритель представляет собой в сущности электрический трансформатор с высоким КПД, все же рассчитывать на величину $\eta_a \approx 1$ трудно. Существуют, правда, теоретические расчеты, из которых следует, что увеличение энергии протонов и размеров мишени может привести к росту K_2 в 1,5—2 раза. Если этот результат подтвердится экспериментально, подобная система может стать энергетически рентабельной при $\eta_a = 0,5—0,7$.

Для производства энергии электроядерным методом требуется, чтобы средняя мощность пучка протонов составляла несколько сот МВт. Это эквивалентно мощности обычной промышленной электростанции. Существующие сильноточные ускорители протонов (мезонные фабрики) пока далеки от этого. Например, на ускорителе LAMPF (Лос-Аламос, США) мощность пучка протонов (с энергией частиц T_0 , равной 0,8 ГэВ) составляет примерно 1 МВт. Необходимо выполнить еще большую работу, исследовательскую и проектно-конструкторскую, чтобы почти в тысячу раз увеличить мощность таких ускорителей.

И термоядерный, и электроядерный методы производства энергии находятся в стадии разработки. Электроядерный метод имеет одно очевидное преимущество: для него не нужна высокотемпературная плазма. Однако усиление энергии при его использовании меньше, чем у гибридера, что может свести на нет это преимущество. Поэтому окончательное сравнение делать еще преждевременно. Могут появиться какие-то новые, неожиданные усовершенствования в том или ином направлении. Одним из них является использование мюонного катализа реакций синтеза ядер дейтерия и трития.

МЮОННЫЙ КАТАЛИЗ РЕАКЦИЙ СИНТЕЗА

Суть явления мюонного катализа заключается в следующем¹⁵. В мезомолекуле $d\bar{t}m$, состоящей из двух ядер изотопов водорода — дейтерия и трития — и связываю-

¹⁴ Васильков Р. Г., Гольданский В. И., Пименов Б. А., Покотилковский Ю. Н., Чистяков Л. В. — Атомная энергия, 1978, т. 44, вып. 4, с. 329.

¹⁵ Подробнее см.: Пономарев Л. И. Мюонный катализ ядерных реакций синтеза. — Природа, 1979, № 9, с. 8.

щего их μ^- -мезона, расстояние между ядрами примерно в 200 раз меньше, чем в аналогичных молекулах, где ядра соединены электроном. И это расстояние, $5 \cdot 10^{-11}$ см, как раз таково, что возможно слияние ядер мезомолекулы за счет квантово-механического проникновения их через узкий барьер кулоновского отталкивания. Реакция происходит практически мгновенно: за время $\tau_i \approx 10^{-12}$ с — в миллион раз меньше, чем время жизни самого мюона $\tau_0 \approx 2,2 \cdot 10^{-6}$ с.

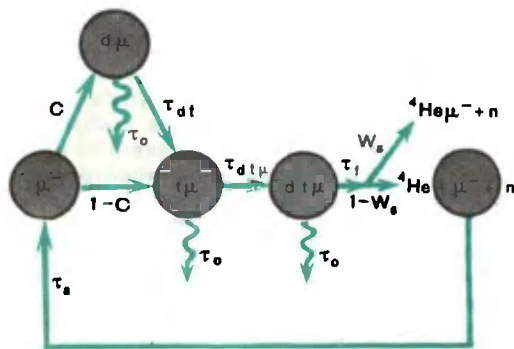


Схема одного цикла мюонного катализа. Свободный μ^- -мезон, замедляясь в $d\mu$ -смеси, за время τ_a с вероятностью C образует мезоатом $\mu\mu$, а с вероятностью $(1-C)$ — мезоатом $t\mu$. За короткое время τ_{dt} (много меньше времени жизни μ^- -мезона τ_0) μ^- -мезон переходит от мезоатома $d\mu$ к атому трития, в результате чего образуется мезоатом $t\mu$. В столкновениях $t\mu$ -атома с молекулами дейтерия за время $\tau_{dt\mu}$ происходит резонансное образование мезомолекулы $d\mu\mu$, в которой практически мгновенно за время τ_i ($\tau_i \ll \tau_{dt\mu}$) протекает реакция синтеза $d+t \rightarrow \text{He} + n$. В подавляющем большинстве случаев мюон освобождается и может вновь катализировать реакцию синтеза; однако с малой вероятностью W_s он может застрять до своего распада на орбите образовавшегося ядра ${}^4\text{He}$.

Важно, что в подавляющем большинстве случаев мюон после реакции синтеза освобождается, образует новую мезомолекулу, что приводит к ядерной реакции синтеза, т. е. процесс может повторяться многократно. Число реакций синтеза (X_c), которое в состоянии осуществить за время своей жизни один мюон, обратно пропорционально вероятности (W_c) погибнуть ему в течение одного цикла катализа. В смеси дейтерия и трития мюон основное время проводит в мезоатоме трития $t\mu$. Поэтому вероятность W_c примерно равна сумме вероятностей распада мюона за время

$\tau_{dt\mu}$ образования мезомолекулы $d\mu\mu$ и вероятности W_s захвата его в реакции синтеза на орбиту гелия, где он затем и распадается:

$$W_c = \frac{\tau_{dt\mu}}{\tau_0 + \tau_{dt\mu}} + W_s.$$

Таким образом, чтобы определить величину X_c , необходимо знать, чему равны $\tau_{dt\mu}$ и W_s .

Использовать мюон для катализа реакции синтеза в холодной смеси дейтерия и трития было впервые предложено в нашей стране в 1948 г.¹⁶ Первые теоретические оценки вероятности захвата мюона гелием в реакции синтеза, проведенные Я. Б. Зельдовичем в 1954—1957 гг., дали для W_s величину порядка 10^{-2} , и последующие вычисления подтвердили этот результат. Что же касается времени образования мезомолекулы, то расчеты приводили к значению, существенно превышающему время жизни мюона. Это означало, что, не успев образовать даже одну мезомолекулу, мюон распадается. Экспериментально этот вывод долгое время не проверялся, так как проводить трудные опыты с радиоактивным тритием без особой надежды на успех никому не хотелось.

Интерес к мюонному катализу значительно возрос после того, как несколько лет назад группа теоретиков из ОИЯИ во главе с Л. И. Пономаревым, проведя рекордные по своей точности расчеты, получила существенно меньшую величину для времени образования мезомолекулы: $\tau_{dt\mu}^0 \approx 10^{-8}$ с ($\tau_{dt\mu}^0$ — значение $\tau_{dt\mu}$ при плотности жидкого водорода)¹⁷. Этот результат побудил начать экспериментальные исследования мезомолекулярных реакций в $d\mu$ -смеси. Уже первые опыты, выполненные в лаборатории ядерных реакций ОИЯИ В. П. Джелеповым, В. Г. Зиновым и др.¹⁸, дали возможность установить верхнюю границу для времени образования мезомолекулы: $\tau_{dt\mu}^0 < 10^{-8}$ с, и тем самым подтвердили резонансный характер ее образования. Используя экспериментальное значение $\tau_{dt\mu}^0$ и теоретическую оценку для W_s , можно найти нижнюю границу

¹⁶ Ранняя история мюонного катализа содержится в обзоре: Зельдович Я. Б., Герштейн С. С. Ядерные реакции в холодном водороде. — УФН, 1960, т. 71, вып. 4, с. 582.

¹⁷ Вицицкий С. И., Пономарев Л. И. и др. — ЖЭФ, 1978, т. 74, вып. 3, с. 849.

¹⁸ См.: Природа, 1979, № 12, с. 92.

для числа циклов μ -катализа X_c , которое в состоянии осуществить 1 мюон: для плотной d^+ -смеси не менее 50 реакций синтеза. Не исключено¹⁹, что может произойти около 100 реакций с выделением энергии $E_c X_c \approx 2$ ГэВ.

Посмотрим теперь, может ли быть мюонный катализ рентабельным. Для этого оценим сколько энергии идет на производство μ^- -мезонов, необходимых для его осуществления. Такие мезоны рождаются в реакции распада π^- -мезонов, происходя-

нуклоны с ядрами. При умеренных энергиях (около одного ГэВ/нуклон) π^- -мезоны рождаются преимущественно в столкновениях нейтронов с нейтронами. Вероятность их рождения в таких столкновениях составляет 0,83, в нейтрон-протонных она равна 0,23, а в протон-протонных близка к нулю. Поэтому и в мишени, и в пучке целесообразно использовать ядра, обогащенные нейтронами. При бомбардировке дейтонами дейтериевой мишени (или любой другой, в которой число протонов

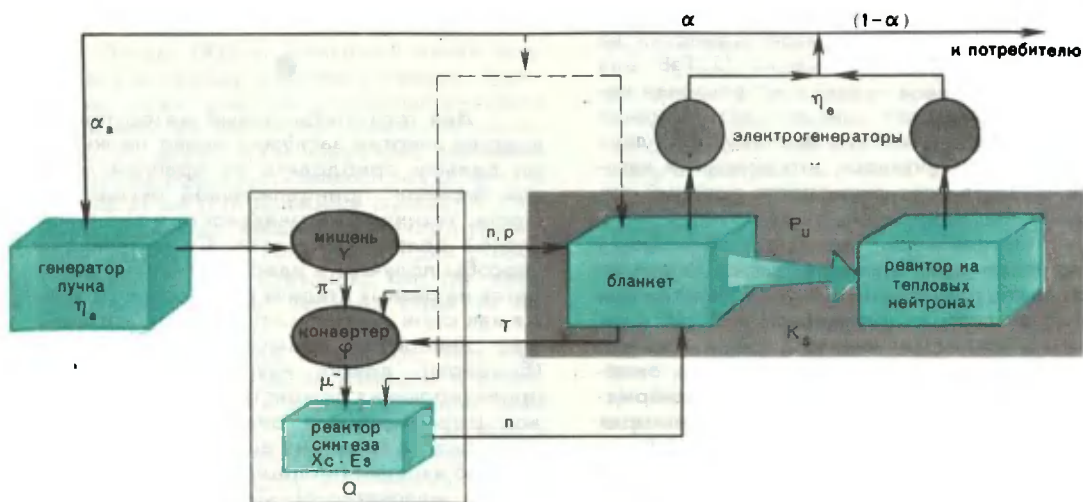
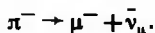


Схема мезокаталитической гибридной системы. Быстрые частицы (дейтарий или тритий) из генератора пучка попадают на мишень из легких ядер, где рождаются π^- -мезоны на единицу энергии быстрого нуклона. В конвертере π^- -мезоны распадаются на μ^- -мезоны, и часть их (ϕ) замедляется в реакторе синтеза. Каждый остановившийся мезон производит X_c реакций синтеза и выделяет энергию $X_c E_c$. Усиление энергии исходного пучка в этом канале составляет $Q = Y X_c E_c \phi$. Нейтроны синтеза (n) и быстрые нуклоны пучка (n, p), покидающие мишень, попадают в бланкет, где усиливают энергию синтеза в K_s раз так, как уже описывалось выше.

равно числу нейтронов) рождается одинаковое количество пионов всех сортов — π^0, π^-, π^+ — и доля π^- составляет 1/3. Если же тритиевую мишень облучать ядрами трития, то выход π^- увеличивается до 1/2. Поскольку исходная энергия быстрых частиц составляла 1 ГэВ/нуклон, то в первом случае на рождение каждого π^- -мезона нужно затратить 2 ГэВ, а во втором случае — 3 ГэВ.

Помимо столкновений, сопровождающихся рождением π^- -мезонов (они называются неупругими), возможны еще чисто упругие столкновения, в которых быстрый нуклон только меняет направление полета. Из-за поглощения мезонов материалом мишени, ее необходимо делать тонкой (в направлении, перпендикулярном пучку). В такой мишени нуклоны после упругого столкновения будут, в основном, вылетать наружу, не успев столкнуться во второй раз. Это обстоятельство приводит к повышению затрат энергии на рождение одного π^- -мезона. Кроме того, дополни-

щей с испусканием соответствующего (мюонного) антинейтрино:



В свою очередь, исходные пионы можно производить, сталкивая быстрые

¹⁹ Gerstein S. S., Ponomarev L. I. — Phys. Lett., 1977, v. 72B, № 1, p. 80.

тельные потери мезонов будут происходить в конвертере, где π^- -мезоны до распада на μ^- и $\bar{\nu}_\mu$ должны удерживаться магнитным полем, а также в стенках мезокаталитического реактора, где неминуемо будет поглощаться часть μ^- -мезонов. В результате, оптимистическая оценка затрат энергии пучка на образование одного μ^- -мезона составляет²⁰ 5 ГэВ. Итак, затрачивая 5 ГэВ, мы получаем при $X_c = 100$ менее 2 ГэВ, т. е. коэффициент усиления Q энергии пучка dt-смесь равен 0,35 и сам по себе мюонный катализ выигрыша в энергии не дает. К этому выводу еще в 1957 г. пришел Дж. Джексон, несмотря на то что он занижил затраты энергии на производство одного мюона (2 ГэВ для чисто протонного пучка) и использовал неоправданно малое для тех лет значение $\tau_{\text{dлм}}^0$. Поэтому в течение последующих двух десятилетий считалось, что мюонный катализ представляет лишь чисто научный интерес.

Возможность усиления бланкетом мощности исходных нейтронов синтеза превращает отрицательный баланс энергии при мезокатализе в положительный²¹. В этом случае, как и при термоядерном синтезе, урановый бланкет может увеличить энергию синтеза в $E_\delta/E_s = 11$ раз. В гибридной системе, где в тепловых реакторах сжигается плутоний, произведенный в бланкете, коэффициент усиления поднимается уже до 50—60. Дополнительное деление урана и плутоний могут дать быстрые нейтроны исходного пучка, которые после рождения π^- -мезонов будут покидать мишень, сохранив еще около 80% исходной энергии. С учетом этого электроядерного канала коэффициент усиления гибридной системой вырастает до $K_s = 100$, а полное усиление энергии исходного пучка уже равно $QK_s = 35$, т. е. много больше единицы. При значениях $K_s = 100$, $Q = 0,35$, $\eta_a = 0,35$ и $\alpha_a < 0,15$ из соотношения для параметров установок замкнутой системы следует требование к КПД ускорителя: $\eta_a > 0,5$, что не кажется невозможным.

Сможет ли в будущем мезокаталитический способ внести вклад в производство энергии? Ответ на этот вопрос в значительной степени зависит от того, насколько эксперимент подтвердит теоретическую оценку числа циклов синтеза одним мюоном:

$X_c = 100$. Множитель 2—3 в ту или другую сторону может сыграть решающую роль.

Остается еще невыясненным вопрос, в какой мере удастся избежать потерь при конструировании мезокаталитического реактора и мощного ускорителя. Только после более надежного определения величины $\eta_a Q$ станет ясно, можно ли рассматривать мезокаталитический способ производства энергии как альтернативный. Но уже сейчас мюонный катализ является прекрасным примером того, каким образом физика элементарных частиц может (пусть пока еще только в принципе) превратиться в раздел промышленной энергетики.



Для того чтобы новый метод производства энергии заслужил право на жизнь, он должен преодолеть по крайней мере три барьера: принципиальной осуществимости, технической реальности и экономической целесообразности. Существующие способы получения ядерной энергии находятся на разных стадиях развития. В то время как одни достигли уровня, при котором уже действуют промышленные станции (бридеры), другие находятся на стадии проектирования демонстрационных установок (термоядерные реакторы на основе токамака), а в третьих еще только изучается само явление (инерционные методы синтеза и мезокатализ). Само разнообразие этих методов создает уверенность, что проблема обеспечения человечества энергией будет успешно решена. Задача заключается в том, чтобы сделать это быстро и с наименьшими потерями как для самого человека, так и для окружающей его природы.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

АТОМНАЯ НАУКА И ТЕХНИКА В СССР. М.: Атомиздат, 1977.

Петросьянц А. М. ПРОБЛЕМЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. М.: Атомиздат, 1979.

Пономарев Л. И. МЮОННЫЙ КАТАЛИЗ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ СИНТЕЗА. — Природа, 1979, № 9.

²⁰ Петров Ю. В., Шабельский Ю. М. — Ядерная физика, 1979, т. 30, вып. 7, с. 129.

²¹ Petrov Yu. V. — Nature, 1980, v. 285, p. 466.

Классик научной популяризации (Воспоминания об академике С. И. Вавилове¹)

А. С. Федоров

ПЕРВАЯ ВСТРЕЧА

Летом 1935 г. комсомол начал подготовку к своему десятому съезду. Успехи на всех участках социалистического строительства открыли советскую молодежь. По всей стране ширилось движение ударников социалистического труда. В ночь с 30 на 31 августа донецкий шахтер А. Стаханов установил небывалый рекорд производительности — 14 норм в одну смену! Трудовой подвиг Стаханова быстро нашел последователей во всех отраслях народного хозяйства.

Большой вклад в практику уже внесла советская наука, за успехами и развитием которой с интересом следила наша молодежь. В 30-е годы начали выходить новые массовые научно-популярные журналы — «Техника — молодежи» (1933), «Наука и жизнь» (1934) и другие.

Летом 1935 г. в редакции журнала «Техника — молодежи», где я тогда работал, состоялось совещание. Обсуждался вопрос: чем встретит журнал X съезд ВЛКСМ, о чем расскажет он своим молодым читателям в связи с этим важным событием в жизни комсомола. Решение было единодушным: нужно рассказать о самом интересном, чем живет страна, о молодых энтузиастах социалистического строительства. Было также внесено предложение широко осветить в журнале достижения науки и техники, рассказать о перспективах развития их важнейших областей. По просьбе редакции ЦК ВЛКСМ, органом которого являлся и является теперь журнал «Техника — молодежи», разрешил выпустить двоянный номер журнала, объемом вдвое больше обычного. Было одобрено также предложение редакции посвятить половину съездовского номера перспекти-

вам научно-технического прогресса, просить выступить по этому поводу наиболее видных советских ученых и инженеров.

Список желательных авторов был составлен в редакции довольно быстро. Было решено назвать вторую половину съездовского номера «Наука и техника нашего завтра». Открыть этот отдел мы попросили Глеба Максимилиановича Кржижановского, старейшего члена партии, одного из создателей знаменитого плана ГОЭЛРО, академика и вице-президента АН СССР, возглавлявшего все направления работы Академии в области технических наук. Согласие Кржижановского было быстро получено, и его статья «Новая энергетика», как и было задумано, открыла серию статей о будущем науки и техники.

По рекомендации Кржижановского редакция обратилась к академику А. А. Чернышеву с просьбой написать статью о перспективах централизованной транспортировки электроэнергии, о работе электростанций на общую электрическую сеть. Так родилась статья «Единая высоковольтная...», поднявшая вопросы дальнего энергоснабжения. Эта важная задача, как известно, решалась в течение ряда десятилетий и близка к своему завершению лишь в наши дни.

В качестве возможных авторов других тем в редакционный список были внесены ученые, известные своей популяризаторской деятельностью, умеющие ярко и интересно рассказать о своих работах и пометчать о будущем науки и техники. Среди таких ученых были названы К. Э. Циолковский, В. И. Вернадский, В. А. Обручев, А. Е. Ферсман, С. И. Вавилов. Одновременно возникла идея просить одного из старейших ученых написать обращение к будущим кадрам науки, к молодежи. Это обращение, ставшее потом знаменитым, было написано великим советским физиологом академиком И. П. Павло-

¹ Окончание. Начало см.: Природа, 1982, № 1.



С. И. Вавилов. 1935 г.

вым. Иван Петрович скончался раньше, чем вышел съездовский номер «Техники — молодежи». Редакция журнала, учитывая исключительное значение завещания ученого, передала его для публикации в «Правду», где оно и было впервые напечатано на второй день после смерти Павлова.

Телефонный звонок в Калугу огорчил и расстроил. К. Э. Циолковский находился в больнице в очень тяжелом состоянии, и о его статье не могло быть и речи. Неудача постигла и с заказом статьи Ферсману. Александр Евгеньевич, как всегда в летние месяцы, находился в дальних экспедициях, и нам не удалось даже установить, в какой из двух тундр Кольского полуострова (Хибинской или Монче-тундре) он в то время работал. Не помню уже по какой причине не удалось заказать запланированные статьи В. И. Вернадскому и В. А. Обручеву. Из московских авторов на просьбу редакции охотно откликнулся известный ботаник и популяризатор науки академик Б. А. Келлер. Его очерк «Мечты ботаника» занял достойное место в журнале.

Оставалась работа с ленинградскими авторами. Группа сотрудников журнала выехала в город на Неве, где жили и

работали тогда многие ученые, часть которых вскоре переехала в Москву в связи с переводом в столицу Академии наук СССР. В одном из номеров старой гостиницы «Гермес», что была в середине Невского проспекта, работала наша выездная редколлегия.

Уже в те годы было ясно, что физика выходит на лидирующие позиции в естественных науках. Нельзя было мечтать о будущем науки, не учитывая прогресса физики. Статью о развитии физических наук мы решили заказать С. И. Вавилову. Такое решение было отнюдь не случайным. Сергей Иванович в то время руководил двумя крупными научными учреждениями физического профиля — Физическим институтом АН СССР (в Москве) и Государственным оптическим институтом (в Ленинграде). Он был уже широко известен как талантливый пропагандист науки. В 1927 г. вышла в свет его замечательная научно-популярная работа «Глаз и Солнце». Эта книга стала выдающимся явлением в научно-популярной литературе. Вполне заслуженно она многократно переиздавалась в нашей стране (последнее, 10-е издание напечатано в 1981 г.) и за рубежом.

Год спустя, в 1928 г., была опубликована новая примечательная работа С. И. Вавилова «Экспериментальные основания теории относительности». В высоком смысле слова она является также научно-популярной книгой, так как глубоко и ясно излагает сущность теории А. Эйнштейна, которая в то время вызывала сомнения даже у некоторых известных физиков. Один заслуженный физик, профессор Московского университета (я не буду называть здесь его имени), говорил тогда о теории относительности: «Как я могу принять на веру, согласиться с теорией, которая не подтверждается экспериментом».

В двадцатые годы были широко известны блестящие научно-популярные статьи С. И. Вавилова, посвященные проблемам физики. Среди них назову статью «Электрон», напечатанную в сборнике «Наука XX века. Физика», т. I, 1928 г., и статью «Спектроскопия. Ее задачи, методы и результаты», вышедшую год спустя во втором томе того же сборника.

Все это вместе взятое убеждало нас в том, что статью о перспективах развития физики лучше всех может написать С. И. Вавилов. К нему и решено было обратиться.

Летним вечером 1935 г. я не без трепета из того же «Гермеса» позвонил на квартиру С. И. Вавилова, готовый к тому, что сейчас долго придется объяснять, кто,

откуда и по какому поводу звонит, а потом, если в лучшем случае он подойдет к телефону, подробно рассказывать ему о нашем еще молодом журнале (тогда ему было только два года), о его направлении и, наконец, о нашей задумке и просьбе.

Однако действительность совершенно не подтвердила этих опасений. В телефонной трубке раздался мягкий, приятный женский голос: «Слушаю». Я поздоровался и спросил, нельзя ли позвать к телефону Сергея Ивановича. «Сейчас»,— последовал ответ, и через десяток секунд к телефону подошел С. И. Вавилов. Я принялся было рассказывать ему о нашем журнале, но он быстро прервал меня словами: «Как же, ваш журнал я хорошо знаю. Регулярно его просматриваю и нахожу в нем много интересного». В ответ на просьбу о статье Сергей Иванович сказал, что он занимается сравнительно узкой областью физики — физической оптикой — и что он не может, да ему и просто неудобно писать статью о перспективах развития физики в целом.

«Кто же может написать такую статью?»,— спросил я. После короткой паузы, понадобившейся С. И. Вавилову для размышления, он ответил: «Академик Иоффе,— и продолжал.— Советую Вам обратиться к Абраму Федоровичу. Он лучше всех других сможет написать нужную вам статью. Это физик очень широкого профиля. Он возглавляет Физико-технический и Агрофизический институты, работает во многих областях физики. Ему, как говорят, «и карты в руки». Лучшего автора вам не найти». С. И. Вавилов тут же любезно сообщил домашний телефон А. Ф. Иоффе.

Я поблагодарил Сергея Ивановича за совет и набрался смелости продолжить беседу. «Хорошо! Если Вы не считаете возможным писать о широких перспективах развития физики, может быть, можно Вас просить рассказать о настоящем и будущем той области, в которой Вы работаете — оптики, светотехники, ведь о них очень мало знают наши читатели». После легкого покашливания С. И. Вавилов ответил: «Вот это другое дело. На эти темы пофантазировать можно. Вообще говоря, я люблю фантазировать и полностью разделяю мнение Ленина о том, что фантазия есть качество величайшей ценности, что даже в математике без фантазии невозможно было бы открыть дифференциальное и интегральное исчисления... А тут — оптика. В общем я подумаю... Заходите завтра на Биржевую, поговорим подробнее». Я поинтересовался, что такое

«Биржевая». Оказалось, что это линия, или попросту улица, на которой находился Оптический институт (ГОИ), ныне носящий имя С. И. Вавилова.

Разговор с Сергеем Ивановичем продолжался не более пяти минут, а еще через пять минут я уже договорился с удивительно милым, необыкновенно интеллигентным Абрамом Федоровичем Иоффе о подготовке им статьи «Физика ближайшего будущего», которая также вошла в съездовский номер журнала «Техника — молодежи».

На следующий день, в назначенное время, я был в ГОИ. Сергей Иванович встретил меня очень приветливо, как старого знакомого, хотя виделись мы в первый раз. Тепло поздоровавшись, он предложил садиться и вынул из своей папки листок бумаги, исписанный мелким почерком: «Думал я вчера над предложением вашей редакции, прикидывал, кое-что записал для памяти, но все что-то не то получается. Ведь вы привыкли сейчас мыслить крупными масштабами. Пишете о больших заводах, мощных электростанциях, манипулируете сотнями тысяч тонн или киловатт... Ну, а у нас в светотехнике, в оптических делах разговор идет о ваттах, о мельчайших долях миллиметра... Заинтересует ли кого-либо эта область науки?»

Я ответил, что несомненно заинтересует, что в его же книге «Глаз и Солнце» прочел: люди в стремлении познать природу света изобрели микроскопы и телескопы, открыли лучи Рентгена и явления радиоактивности, установили известную тождественность явлений световых и электрических. Очень интересно было бы знать прогнозы развития оптики и на ближайшие годы, и, если возможно, на более далекую перспективу.

«Последнее много легче,— засмеялся С. И. Вавилов.— Проще пофантазировать о том, что может быть через 40—50 лет. В этом случае не требуется весомого доказательств, да и упрекать потом будет некого. Гораздо труднее представить, что будет в твоей области через 3—5 лет. Вот здесь требуются доказательства, ведь под них деньги отпускают».

«Оптика — одна из самых древних наук,— продолжал Вавилов.— За долгие годы ее развития многое полезное сделано. Несколько столетий люди используют микроскопы, телескопы и другие оптические приборы. Они непрерывно совершенствуются. А проблемы светотехники? Лампы дневного света все шире применяются в

практике, позволяя экономить большое количество электроэнергии. Хотелось бы в самом ближайшем будущем создать новые оптические устройства — светосильные объекты, собирающие в видимое изображение максимальное количество световой энергии. Нужно подумать о более разумном использовании фотоэлектрического эффекта в разных областях науки и техники.»

«Мы будем еще больше внимания уделять созданию новых газосветных ламп,— говорил С. И. Вавилов,— добиваясь их высокой светоотдачи. Мы будем работать в ближайшие годы над созданием концентрированных источников света, которые при небольших размерах давали бы огромные яркости. Сейчас наука открывает перед нами такие возможности...»

«Что же можно сказать о дальних перспективах оптики? — и сам С. И. Вавилов тут же ответил на этот вопрос.— Самое главное, по моему мнению, это максимальная утилизация световой энергии, энергии солнечных лучей. В этом будущее нашей энергетики. Кстати, и теперь Солнце является источником всех видов энергии, используемых сейчас человеком. Но получаем мы эту энергию через «комиссионеров» — уголь, нефть, водопады, ветры и т. п. Наша задача — улавливать солнечную энергию непосредственно».

«Это очень трудная задача,— сказал С. И. Вавилов и продолжал.— Я думаю, что для ее полного решения понадобится много десятилетий, а может быть и целое столетие. Но эта задача обязательно будет решена. Люди постоянно научаются превращать энергию света в тепло или электричество. Но, по-видимому, разумнее всего улавливать энергию Солнца специальными химическими соединениями. В этом я вижу будущее энергетики».

Заключительные слова С. И. Вавилова были последним абзацем его будущей статьи. Поэтому я цитирую их по журналу. «Фотоэлектрические процессы под действием невидимых и видимых солнечных лучей с максимальной технической выгодой — такова главная практическая задача оптики будущего. Тогда можно будет осуществить самую широкую фантазию оптики — покрыть весь земной шар химическими гелиостанциями, которые будут регулировать всю энергетику...»²

С. И. Вавилов прочел эти строки по своему конспекту и поинтересовался: «Как получается?». «Отлично,— сказал я.— Остается только подумать о названии».

«А название в тексте,— ответил Сергей Иванович,— «Фантазия оптика». Разве Вам не нравится?».

«Название, конечно, хорошее. Но беда в том, что мы уже получили статью академика Келлера «Мечты ботаника». Вероятно, его и Ваша статья будут стоять в номере рядом, и не хотелось бы, чтобы их названия так совпадали по форме».

«Вы правы,— сказал С. И. Вавилов.— Название моей статьи лучше изменить». И немного подумав, добавил: «Давайте переставим слова и назовем статью «Оптические фантазии».

На этом и порешили. Через неделю статья была уже в редакции.

Недавно, перечитывая вновь эту статью, я был поражен глубиной ее содержания, великим даром научного предвидения, которым обладал Сергей Иванович. И было бы крайне желательно, чтобы наши молодые оптики поинтересовались этой статьей, проанализировали «фантазии» замечательного ученого и ответили бы на вопрос — в какой мере эти фантазии уже стали реальностью.

С. И. ВАВИЛОВ И НАУЧНАЯ КИНЕМАТОГРАФИЯ

После первой встречи миновало десять лет. За это время я видел Сергея Ивановича несколько раз. Это бывало на больших московских собраниях ученых. После войны встречи становились все более частыми. В середине 40-х годов я работал у академика П. Л. Капицы, сначала научным сотрудником Института физических проблем АН СССР, потом его заместителем по Главкислороду³. В эти годы в Москве жил после эвакуации знаменитый ученый и кораблестроитель академик А. Н. Крылов. Он занимал небольшую квартиру в доме научных работников Института физических проблем.

Мне посчастливилось близко познакомиться с Алексеем Николаевичем, часто

³ В 1943 г. при Совнаркомом СССР было создано Главное управление кислородной промышленности, задачей которого являлась быстрейшая реализация нового способа получения кислорода, предложенного П. Л. Капицей, и широкое внедрение кислорода для интенсификации многих технологических процессов в промышленности.

² Вавилов С. И. Оптические фантазии.— Техника — молодежи, 1936, № 2—3, с. 112.



А. Н. Крылов и С. И. Вавилов. 1945 г.

бывать у него, поскольку от подъезда института до квартиры Крылова было не более пятнадцати шагов. Какое огромное удовольствие было беседовать с ним, слушать увлекательные рассказы и воспоминания о русском флоте, об «опытовом бассейне», об адмирале С. О. Макарове и многие другие.

В один из июльских дней 1945 г. я был у Алексея Николаевича. В это время вошел С. И. Вавилов, и, поздоровавшись, сообщил, что наносит визиты старейшим академикам в знак глубокой благодарности за оказанное ему доверие — избрание президентом Академии наук. С. И. Вавилов был в веселом, приподнятом настроении. Мы тепло поздравили Сергея Ивановича с избранием, а А. Н. Крылов сказал, что такое важное событие надо отметить по всем морским обычаям. На столе появился графинчик с прозрачной жидкостью, и мы коллективно еще раз поздравили Сергея Ивановича. После этого я счел более разумным раскланяться и оставить двух ученых для личной беседы.

Прошло еще два года. В 1947 г. по инициативе ряда ученых и общественных деятелей было создано Всесоюзное общество по распространению политических и научных знаний. Председателем Общества был избран С. И. Вавилов. Новое общество (в настоящее время оно называется «Знание») быстро приобрело большую популярность. Оно стало организатором широкой пропаганды знаний, используя для этого самые массовые каналы — лекции, дискуссии, выпуск книг и журналов, организацию выставок, передач по радио и т. д.

В моей жизни произошли перемены. В 1946 г. я был назначен начальником Главного управления научно-популярных фильмов Министерства кинематографии СССР и целиком отдался этой увлекательной работе. Программа производства научно-популярных и учебных фильмов уже в то время была довольно обширной. Ежегодно выпускалось около 200 кинолент, посвященных узловым проблемам науки и техники, социалистического строительства, культурной жизни нашего общества. Подавляющее большинство нашей кинопродукции предназначалось для учебных целей. Это были целые кино-курсы и от-

дельные фильмы, которые использовались в школах, техникумах, вузах.

Таким образом, уже тогда кино играло далеко не последнюю роль в пропаганде знаний. Поэтому я несколько не удивился, когда где-то на рубеже 1947/48 г. мне позвонили из Всесоюзного общества по распространению политических и научных знаний и попросили рассказать на очередном заседании Президиума о состоянии работы и планах Главнаучфильма. Признаться, я был очень обрадован таким предложением. До этого годовые планы производства научных и учебных фильмов рассматривались только небольшим научно-методическим советом при главке и затем коллегией Министерства кинематографии. А теперь к этому делу привлекалось большое число видных ученых разных специальностей, входивших в состав Правления Общества и его Президиума.

В назначенный день, получив «добро» от своего министра, я направился на заседание. Текст моего сообщения и проект тематического плана Главнаучфильма на 1948 г. участники заседания получили заранее, и я ограничился лишь общими замечаниями о направлении плана и кратко рассказал, что сделано научным кинематографом в последние годы. В целом план был одобрен. Однако на заседании были высказаны замечания и дополнения. Они касались главным образом двух вопросов: во-первых, назывались темы будущих фильмов и, во-вторых, говорилось о том, как лучше использовать уже имеющийся фильмофонд для пропаганды знаний через организации Общества. Закрывая обмен мнениями, С. И. Вавилов выдвинул перед научным кинематографом задачу создания в первую очередь мировоззренческих фильмов, рассказывающих о строении вещества и Вселенной, о широком использовании достижений науки в практике народного хозяйства. Он говорил также об образовательной роли научного кинематографа, о необходимости создавать фильмы, повышающие культурный уровень зрителей. Заключительная часть выступления председателя Правления Общества была посвящена вопросу широкого использования научных-популярных фильмов в практической работе Общества. Было высказано также очень ценное пожелание экранизировать лекции крупнейших ученых, «Таким образом, — говорил С. И. Вавилов, — мы в тысячи раз расширим наши лекторские аудитории. Широкие круги слушателей познакомятся с достижениями науки, рассказанными ее творцами. Конеч-

но, эти кинолекции могут и должны сопровождаться демонстрацией на экране научных экспериментов и их результатов. Для этого нужно использовать многообразные возможности научного кино — ускоренную и замедленную съемку, микросъемку. Сложные теоретические вопросы науки можно популярно разъяснить, применяя мультипликационную съемку...» Уже тогда я убедился, как глубоко знает С. И. Вавилов возможности кинематографии для популяризации научных знаний.

В те годы Сергей Иванович принимал большое участие в работе научного кинематографа. Он консультировал сценарии, неоднократно участвовал в съемках фильмов. Еще в 1946 г. был снят киносюжет «Лампа дневного света», посвященный работам С. И. Вавилова. Сюжет был включен в научно-популярный киножурнал «Наука и техника» № 77, вышедший на экраны в конце 1946 г. Более обстоятельные съемки были осуществлены в 1948 г. для фильма «Холодный свет», в котором рассказывалось о работах Сергея Ивановича в области светотехники. Много лет спустя отснятые тогда документальные материалы вошли в научно-популярную ленту, посвященную С. И. Вавилову, демонстрировавшуюся недавно на экранах.

Осенью 1948 г. я встретил С. И. Вавилова в павильоне Моснаучфильма (на Лесной улице), где происходили съемки «Холодного света». Пока на площадке устанавливали осветительные приборы, так называемые диги (дуги интенсивного горения), я рассказал Сергею Ивановичу о том, что еще в 1936 г., работая над кандидатской диссертацией, использовал киносъемку для определения баланса энергии удара ковочного молота. Тогда с помощью коноаппарата впервые удалось установить, какая часть энергии падающего молота расходуется полезно, для деформации металла. С. И. Вавилов слушал очень внимательно, с большим интересом. Видя это, я пригласил его в просмотровый зал, где всегда находилась на полке небольшая кинолента, в которой кратко рассказывалось об основных возможностях киносъемки в научных целях. В течение всего десяти минут на экране были показаны кадры научных работ, осуществлявшихся И. П. Павловым, И. В. Мичуриным, К. Э. Циолковским, демонстрировался замедленный в сотни раз полет пули в многократно ускоренное распускание бутона лилии, увеличенные в сотни раз инфузории и «убыстренное» заживление раны. В общем, все киночудеса за десять минут.

Когда в зале зажгли свет, Сергей Иванович сказал: «Великие возможности открывает научное кино перед исследователями. Жаль, что о них еще так мало знают наши научные работники». И потом, обращаясь ко мне, сказал: «Вам бы, как одному из специалистов научной кинематографии, следовало написать подробную статью о методах научной съемки. А еще раньше следует выступить с публичной лекцией в аудитории нашего Общества. При этом нужно обязательно показать ленту, которую мы только что просмотрели».

Я ответил С. И. Вавилову, что постараюсь незамедлительно выполнить его поручения. Но, в свою очередь, просил его написать для журнала «Искусство кино» статью о роли кинематографа в пропаганде научных знаний. Такая статья очень помогла бы в нашей работе. Ведь, что греха таить, еще немало людей недооценивает значение кинематографа в популяризации достижений науки, и наши фильмы с большим трудом пробивают дорогу к экрану.

«Таким образом, — рассмеялся С. И. Вавилов, — Вы вызываете меня на соревнование. Вы пишете для Общества, а я для кино! Ну что ж, вызов принимаю, что-нибудь сделаю».

Взятые обязательства были быстро выполнены обеими сторонами. В первом номере журнала «Искусство кино» за 1950 г. была опубликована статья С. И. Вавилова «Помощник советской науки». Перечитывая эту статью сейчас, через 30 с лишним лет после того, как она была напечатана, вновь поражаешься удивительному уменью С. И. Вавилова в коротких фразах выражать сущность и глубину рассматриваемой им проблемы. В этой статье Сергей Иванович снова подчеркнул, что советское кино уже внесло важный вклад в пропаганду передовой науки, но что оно должно и дальше расширять свою роль в деле распространения знаний. Активное участие в создании фильмов должны принимать широкие круги ученых разных специальностей. С. И. Вавилов писал, что даже художественные фильмы, посвященные деятелям науки или имеющие своей фабулой ту или иную научную проблему, обязательно должны делаться при активной помощи ученых. «Тем более это необходимо при постановке научно-популярных и учебных фильмов... Научно-популярные и учебные фильмы — это своего рода лекция для миллионной аудитории,

сделанная умным, умеющим заинтересовать людей, лектором. Нужно еще глубже использовать способность кино коротко, понятно, наглядно рассказать о важнейших научных законах и явлениях».⁴

Были выполнены и мои обязательства. В начале 1949 г. на здании Политехнического музея появились афиши о моей лекции «Кино на службе науки». Организаторы лекции не думали, что она привлечет много слушателей и запланировали ее в малом лекционном зале. Однако желающих послушать лекцию было так много, что ее пришлось перенести в Большую аудиторию. Конечно, лекция сопровождалась многочисленными фрагментами из фильмов, которые показали широкие возможности использования разных методов киносъемки в научно-исследовательских экспериментах. Вскоре текст лекции со многими иллюстрациями был выпущен массовым тиражом в издательстве «Правда». Думаю, что это произошло не без участия Сергея Ивановича.

В 1950 г. Госкиноиздат опубликовал первый сборник статей «Наука и кино». Там был напечатан и мой большой очерк «Могучее средство научного исследования», посвященный разным аспектам использования киносъемки в научной работе. В этом же сборнике напечатаны статьи видных ученых В. Л. Комарова, Е. А. Чудакова, А. И. Опарина, И. И. Артоболевского, Д. И. Шербакова и др. о возможностях кинематографа для пропаганды научных знаний.

Сергей Иванович Вавилов высоко ценил значение научного кино и всегда охотно помогал кинематографистам. Наши киностудии часто обращались к нему за консультациями, особенно в тех случаях, когда фильмы посвящались проблемам современной физики⁵. Он, например, активно участвовал в подготовке полнометражного цветного научно-популярного фильма «Тайна вещества» (режиссер П. В. Кнушанцев, Леннаучфильм).

После кончины Сергея Ивановича Вавилова минуло уже более трех десятилетий. Однако в памяти всех, кто его знал, живет облик этого неутомимого труженика науки, опытного ее организатора, душевного, простого в общении, милого и мудрого человека.

⁴ Вавилов С. И. Помощник советской науки. — Искусство кино, 1950, № 1, с. 34.

⁵ Научное кино в СССР. М.: 1958, с. 19.

Геологическая история Мексиканского залива (77-й рейс «Гломара Челленджера»)

И. О. Мурдмаа,

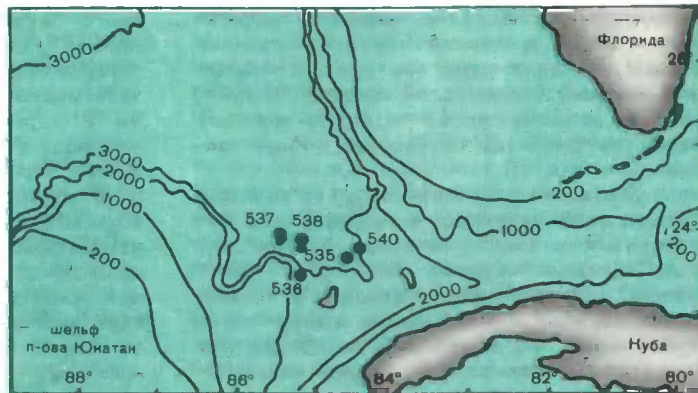
кандидат геолого-минералогических наук

Москва

27 декабря 1980 г. американское научно-исследовательское буровое судно «Гломар Челленджер» вышло из порта Форт-Лодердейл (штат Флорида) и направилось в юго-западную часть Мексиканского залива. В соответствии с программой 77-го рейса предстояло выяснить некоторые спорные вопросы геологического строения и истории возникновения впадины Мексиканского залива¹. Научное руководство рейсом осуществляли Р. Баффлер и В. Шлагер (США); помимо американских специалистов, на борту судна работали ученые Великобритании, Италии, Франции, Японии, а также Кубы. Рейс продолжался 2 месяца и был завершен 30 января 1981 г. в Пуэрто-Рико.

Бурение скважин проводилось в двух районах: в подводной долине у подножия континентального склона Флориды (скважины 535 и 540) и на поднятых блоках фундамента у подножия склона п-ова Юкатан (скважины 536, 537 и 538).

Скважина 535 (координаты 23°46' с. ш., 84°31' з. д., глубина океана 3455 м) была пробурена на оси подводной долины, врезанной на несколько сот метров в нижнемеловые отложения. Общая глубина скважины 714 м от дна океана. Верхние 154 м разреза составляют четвертичные известковые фораминиферо-птероподовые осадки, содержащие много переоотложенных остатков микрофлоры мелового возраста. Под ними сразу залегают слоистые известняки раннемелового воз-



Расположение скважин, пробуренных в 77-м рейсе «Гломара Челленджера» в юго-западной части Мексиканского залива. Изобаты даны в метрах.

раста (от берриаса до среднего альба, 135—105 млн лет назад); они напоминают карбонатные породы этого же возраста, найденные ранее в западной части Атлантического океана. В этой части разреза переслаиваются темные и светлые, в целом серые породы, в разной степени обогащенные органическим веществом, содержащие остатки нанопланктона, радиолярий и раковин аммонитов. Наличие прослоев черных, богатых органическим веществом мергелей свидетельствует о вероятном эпизодическом заражении придонных вод сероводородом в условиях сравнительно глубоководного бассейна, а также о высокой биологической продуктивности этого водоема. Встречаются здесь также прослои известняков, состоящих из грубых обломков мелководных животных, очевидно смывтых течениями с соседних мелководий.

Скважина 540 (координаты 23°50' с. ш., 84°22' з. д., глубина океана 2940 м) пробурена до глубины 745 м от дна на фланге долины. В отличие от скважины 535 в ней обна-

ружены сохранившиеся от размытия сравнительно маломощные слои палеогеновых (268 м) и верхнемеловых (56 м) карбонатных осадков — нанофораминиферных илов, мелов и мергелей, в которых видны признаки подводных оползней, гравитационного течения масса ила и мутьевых потоков, свидетельствующие о близости крутых склонов. Под этими слоями скважина вошла в толщу темных слоистых известняков раннемелового возраста, обогащенных органическим веществом и уже знакомых по скважине 535. Здесь вскрыты верхние (от среднего альба до нижнего сеномана, примерно 105—95 млн лет назад) горизонты этой толщи, соответствующие известным черным глинам Северной Атлантики. По мнению участников рейса, нижнемеловую толщу в обеих скважинах можно считать потенциально нефтематеринской, но не достигшей зоны генерации нефтяных углеводородов.

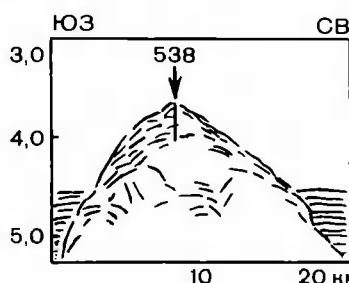
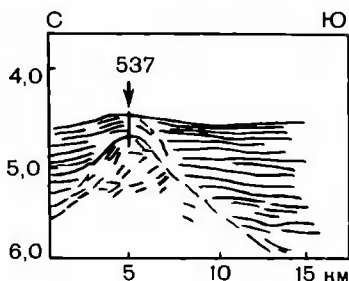
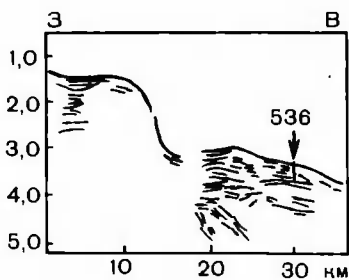
Скважина 536 (координаты 23°29' с. ш., 85°13' з. д., глубина океана 2808 м) пробурена на подножии континентального склона. Сверху она прошла сквозь сокращенную из-за размытия течениями 80-метровую толщу пестроцветных наноилов с прослоями мергелей и вулканического пепла; возраст толщи — от позднего мела (мааст-

¹ JOIDES Journal, 1981, v. V(11), № 2, p. 3.

рихта, 70—65 млн лет назад) до современного. Очевидно, на возвышенности все это время существовал режим медленного глубоководного накопления осадков, многократно прерванного усилившимися придонными течениями. Ниже вскрыто 104 м белых пористых известняков альбского возраста, состоящих из обломков раковин и скелетов мелководных организмов, но поскольку здесь есть прослой пелагических мелов с радиоляриями, можно полагать, что это относительно глубоководные отложения, накопившиеся, вероятно, на глубине порядка 1000 м на склоне мелководной банки («карбонатной платформы») в результате перемыва мелководного детрита. Под ними скважина вошла в явно мелководные доломиты, возраст которых не установлен.

Скважина 537 (координаты $23^{\circ}56'$ с. ш., $85^{\circ}28'$ з. д., глубина океана 3148 м) была пробурена над поднятым блоком фундамента, почти полностью захороненным под толщей осадков. Сверху залегают 92,5 м пелагических известковых илов, имеющих возраст от апта до плиоцена, а под ними — 57,5 м биогенно-обломочных известняков, отложившихся за период от берриаса до валанжина и содержащих остатки моллюсков, кораллов, морских ежей и другой мелководной фауны. Еще ниже залегают доломиты, зированные мергели и аркозовые песчаники раннего мела и поздней юры. Последние отложившись в условиях прибрежно мелководья, а отчасти на суше, в долинах рек. Их подстилают древние (домезозойские) кристаллические породы континентальной земной коры — филлиты.

Скважина 538 (координаты $23^{\circ}51'$ с. ш., $85^{\circ}10'$ з. д., глубина океана 2801 м) пробурена на вершине подводной горы Катус, где современные осадки отсутствуют и на поверхность выходит 173-метровая толща пелагических известковых осадков возрастом от эоцена до миоцена. Под ней скважиной вскрыт маломощный (16 м) сильно сокращенный слой наномлов с многочисленными перерывами в осадконакоплении. Этот разрез охватывает большой интер-



Зарисовка разрезов осадочного слоя, которые получены методом непрерывного сейсмического профилирования. Видны поднятия блоков фундамента, на которых пробурены скважины 536, 537 и 538. По оси ординат — время прохождения сейсмических волн в секундах.

вал геологического времени (почти 30 млн лет) — от сантона до позднего палеоцена. Ниже залегают 22 м позднеальбских слоистых известняков и мергелей, обогащенных органическим веществом, а под ними — 57-метровый слой оолитово-онколитовых известняков позднего берриаса — раннего валанжина (около 130 млн лет назад) с остатками мелководной фауны, как и в скважине 537. Затем скважина вошла в породы домезозойского кристаллического фундамента континентальной коры — гранито-гнейсы и ам-

фиболиты, которые рассечены дайками диабазов.

Полученные данные подтверждают гипотезу образования Мексиканского залива в результате раскола континента, раздвижения и погружения блоков континентальной земной коры в ходе рифтообразования, сопровождавшегося внедрением магмы основного состава и отложением соли в рифтовых бассейнах. Но все эти события происходили не в триасе — средней юре, как считалось ранее, а гораздо позже. Во всяком случае, переход от наземных условий к морским произошел на границе юры и мела (около 140 млн лет назад), а не в раннем мезозое. Последовавшее затем опускание блоков континентальной коры привело к смене мелководных условий глубоководными, но опять-таки не в юрский период, а в раннем мелу; движение же блоков по разломам продолжалось по крайней мере до позднего мела или даже до начала кайнозоя.

Как часто бывает в геологии, решив одни проблемы, бурение в Мексиканском заливе подняло новые. Например, исследователей поставило в тупик почти повсеместное отсутствие здесь верхнемеловых отложений. В северо-западной части Атлантического океана верхнемеловые слои также маломощны и прерывисты; этот факт автор пытался в свое время объяснить слабым поступлением терригенного материала с континента и низкой биологической продуктивностью водоема в условиях аридного климата и в сочетании с деятельностью придонных течений. Может, такое же объяснение подходит и для Мексиканского залива? Или здесь сказалось погружение соседних шельфов и прекратившееся в связи с этим поступление с них мелководного карбонатного материала? А может, верхнемеловые отложения были сорваны в результате тектонических движений?

Короче говоря, Мексиканский залив оказался геологически более молодым, чем предполагали до результатов бурения. Полученные данные безусловно привлекут внимание геологов, занимающихся исследованием соседних районов суши, в том числе на Кубе.

Неравномерность вращения Земли и движение полюсов

Н. С. Сидоренков



Николай Сергеевич Сидоренков, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Гидрометцентра СССР. Основные работы посвящены исследованиям неравномерности вращения Земли и движения полюсов, физике атмосферы и гидросферы, солнечно-земной физике. Автор книги: Планета Земля. Изд. 2-е. М., 1977 (совместно с К. А. Куликовым). В «Природе» опубликовал статью: Солнечные корпускулярные потоки и погода на Земле. 1974, № 3.

Вращение Земли вокруг своей оси испокон веков используется человеком для измерения времени. В астрономии и геодезии оно служит незаменимой основой для введения различных систем координат. Однако Земля вращается не совсем регулярно: меняется скорость ее вращения, движутся географические полюса. Эти нерегулярности вращения Земли доставляют много хлопот астрономам и геодезистам, так как они искажают координаты небесных и земных объектов. Неравномерность вращения Земли и движение полюсов вызываются процессами, протекающими на Земле, и зависят от особенностей строения и физических свойств земных недр. Являясь отражением земных процессов, нерегулярности вращения Земли содержат ценную информацию о них, служат глобальными характеристиками этих процессов, выдаваемыми самой природой.

Таким образом, изучение неравномерности вращения Земли и движения полюсов имеет большое практическое и научное значение. Оно позволяет исправлять искаженные координаты небесных и земных объектов, способствует расширению и углублению наших знаний в различных областях наук о Земле. Как же меняется суточное вращение Земли во времени? Чем вызывается неравномерность вращения Земли и движение полюсов?

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Сомнения в постоянстве скорости вращения Земли возникли после открытия Э. Галлеем в 1695 г. векового ускорения движения Луны. Мысль о вековом замедлении вращения Земли под действием приливного трения впервые была высказана И. Кантом в 1755 г. Во второй половине прошлого столетия были заподозрены нерегулярные флуктуации скорости вращения Земли и движение полюсов. С тех пор за неравномерностью вращения Земли и движением полюсов ведутся регулярные наблюдения.

Скорость вращения Земли наиболее просто можно характеризовать отклонением длительности земных суток от эталонных (длительность эталонных суток постоянна и равна 86 400 с). Чем короче земные сутки, тем быстрее вращается Земля.

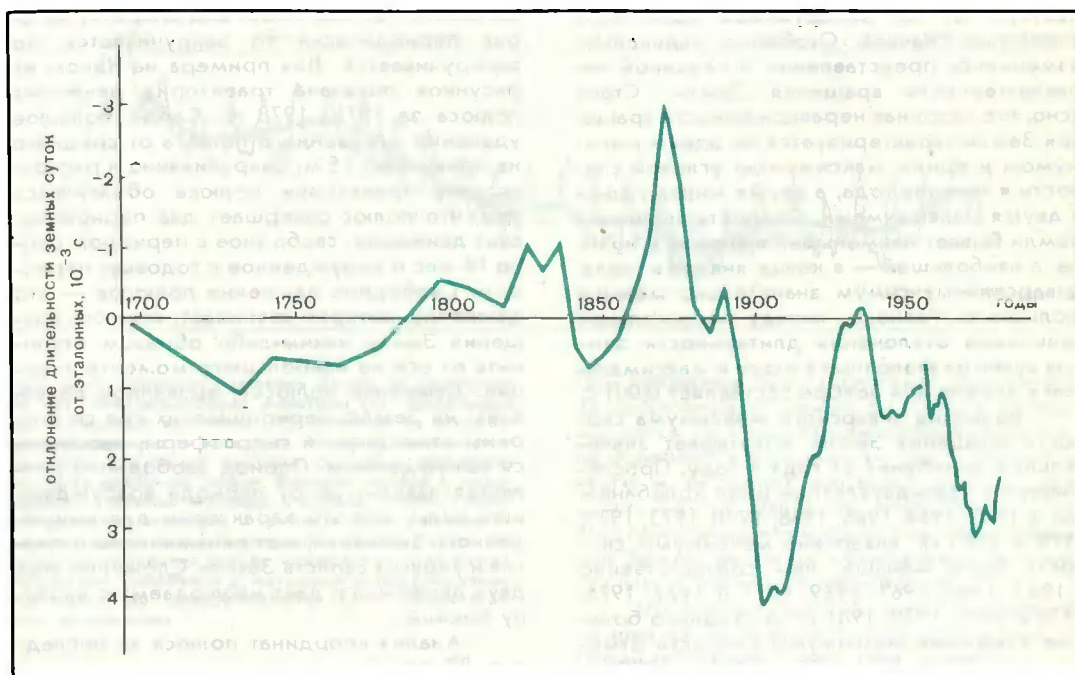
Земля, вращающаяся вокруг своей оси, является своего рода часами. Циферблатом этих огромных часов является небесная сфера, а стрелкой может служить любая плоскость, проведенная через ось вращения Земли и жестко связанная с земной поверхностью. Астрономы, например, используют в качестве стрелки плоскость меридиана, т. е. плоскость, которая мысленно проводится через отвесную линию места наблюдения и полюса Земли.

Звезды и светила, расположенные на небесной сфере, являются своего рода делениями циферблата. Вращающаяся вместе с Землей плоскость меридиана, указывая на то или иное светило, координаты которого можно найти в астрономическом ежегоднике, позволяет «отсчитать» по нему земное время.

Наряду с часами «Земля» человек использует и механические часы самых разнообразных типов, а в последние десятилетия — кварцевые и атомные часы. Точ-

ность вращения немного возрастала. С 1973 г. по настоящее время отмечается ускорение вращения Земли.

До создания атомных часов ход часов «Земля» контролировался лишь путем сравнения наблюдаемых и вычисленных координат Луны, Солнца и планет. Таким путем удается получить представление об изменении скорости вращения Земли в течение последних трех столетий (с конца XVII в., когда стали вестись первые инструментальные наблюдения за движением Луны, Солнца и планет). Оказывается, что с начала



Изменения скорости вращения Земли за последние 300 лет. Уменьшению длительности суток соответствует увеличение скорости вращения Земли. Отчетливо видны сложные нерегулярные изменения скорости вращения Земли с периодами в несколько десятков лет.

ность атомных часов столь высока, что с их помощью можно проверить ход часов «Земля». Такая «проверка», ведущаяся в Международном бюро времени с 1955 г., показывает, что часы «Земля» идут не лучшим образом. Они иногда спешат, а иногда отстают. Плохой ход часов «Земля» вызван непостоянством скорости вращения планеты. Обработка наблюдений показывает, что до 1972 г. Земля в основном замедляла свое вращение. Лишь с 1958 по 1961 г.

XVIII до середины XIX в. скорость вращения Земли менялась мало. Со второй же половины XIX в. по настоящее время наблюдались значительные нерегулярные флуктуации угловой скорости вращения Земли с характерными временами порядка 60—80 лет. Наиболее быстро Земля вращалась около 1870 г., когда длительность земных суток была на 0,003 с короче эталонных, а наиболее медленно — около 1903 г. (земные сутки были длиннее эталонных на 0,004 с). С 1903 по 1934 г. происходило ускорение вращения Земли, а с конца 30-х годов до 1972 г. наблюдалось замедление, которое иногда сменялось периодами небольшого ускорения. К сожалению, из сравнения наблюдаемых и вычисленных координат Луны, Солнца и планет неравно-

мерность вращения Земли определяется с очень плохим разрешением. Особенно это характерно для данных XVII—XVIII вв., когда интервалы времени между наблюдениями достигали иногда 29 лет.

Точность определения неравномерности вращения Земли радикально улучшилась с 1955 г. — после того как стали использоваться атомные часы. С этого момента появилась возможность регистрировать все колебания скорости вращения Земли с периодами более одного месяца. Именно с помощью атомных часов было установлено, что скорость вращения Земли меняется постепенно, не обнаруживая каких-либо внезапных скачков. Особенно радикально изменились представления о сезонной неравномерности вращения Земли. Стало ясно, что сезонная неравномерность вращения Земли характеризуется не одним минимумом и одним максимумом угловой скорости в течение года, а двумя минимумами и двумя максимумами. Скорость вращения Земли бывает наименьшей в апреле и ноябре, а наибольшей — в конце января и июля. Январский максимум значительно меньше июльского. Разность между минимальной величиной отклонения длительности земных суток от эталонных в июле и максимальной в апреле или ноябре составляет 0,001 с.

Величина январского максимума скорости вращения Земли испытывает значительные колебания от года к году. Прослеживается квазидвухлетний цикл колебаний. Так, в 1962, 1964, 1966, 1968, 1970, 1973, 1975, 1978 и 1980 гг. январские максимумы скорости были меньше, чем соответственно в 1963, 1965, 1967, 1969, 1971 и 1972, 1974, 1976 и 1977, 1979, 1981 гг. Аномально большие январские максимумы скорости отмечались в 1963, 1971, 1972, 1974 и 1977 гг. Помимо квазидвухлетней цикличности, величины январских максимумов испытывают нерегулярные колебания с более длительными характерными временами. В частности, заметен их рост от 50-х годов к настоящему времени. Особенно сильно январские максимумы возросли в начале 70-х годов.

Величины июльских максимумов скорости более стабильны. Они обнаруживают квазিশестилетнюю цикличность. Наибольшие величины июльских максимумов скорости отмечались в 1958, 1964, 1970, 1977 гг., а наименьшие — в 1961, 1968, 1972 и 1979 гг.

Формально сезонные колебания обычно описывают суммой годовой и полугодовой гармоник. Амплитуды и фазы этих гармоник меняются от года к году, обнаруживая интересные закономерности. Амплитуда годовой гармоник меняется с харак-

терным временем около шести, а полугодовой — около двух лет. Средняя величина амплитуд годовой и полугодовой гармоник равна соответственно 0,00035 и 0,00032 с.

Изменяется не только угловая скорость Земли, наша планета совершает небольшие колебания относительно оси вращения. Поэтому точки, в которых ось пересекает земную поверхность, — мгновенные полюса Земли — движутся. Они перемещаются по земной поверхности вокруг среднего полюса в направлении вращения Земли, т. е. с запада на восток. Траектория движения полюса имеет вид спирали, которая периодически то закручивается, то раскручивается. Для примера на одном из рисунков показана траектория движения полюса за 1971—1978 гг. Самое большое удаление мгновенного полюса от среднего не превышает 15 м. Закручивание и раскручивание траектории полюса объясняется тем, что полюс совершает два периодических движения: свободное с периодом около 14 мес и вынужденное с годовым периодом. Свободное движение полюсов — это движение, которое возникает, если ось вращения Земли каким-либо образом отклонить от оси ее наибольшего момента инерции. Движение полюсов, вызванное действием на Землю периодических сил со стороны атмосферы и гидросферы, называется вынужденным. Период свободного движения зависит не от периода возбуждающей силы, как это характерно для вынужденного движения, а от динамического сжатия и упругих свойств Земли. Сложение этих двух движений и дает наблюдаемую картину биений¹.

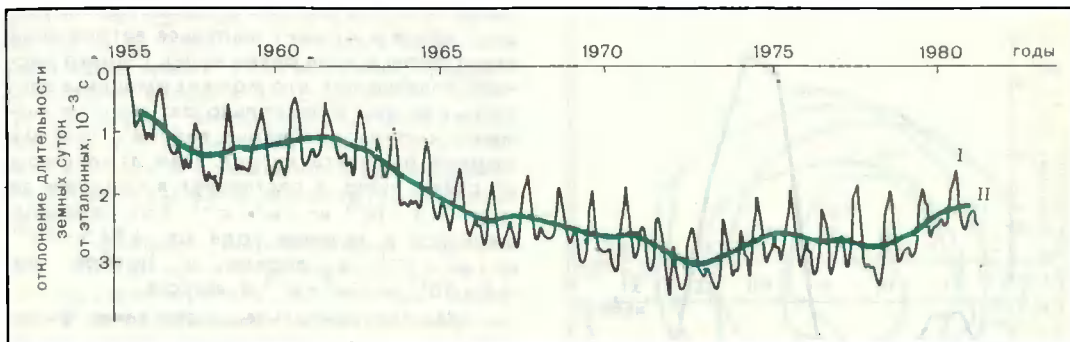
Анализ координат полюса за последние 90 лет показывает, что вынужденное движение происходит по эллипсу с запада на восток. Величины больших полуосей эллипса колебались в пределах от 3,4 до 2,7 м, малых полуосей — от 2,5 до 1,8 м, эксцентриситетов от 0,15 до 0,46, а восточные долготы большой полуоси имели значения от 205° до 145° в. д.

Свободное движение полюса по тем же данным имеет почти круговую траекторию. Оно характеризуется еще большей изменчивостью своих параметров. Период свободного движения составлял от 1,13 до 1,21 года (наиболее вероятно 1,19 года). Радиус свободного движения полюса в 1930—1940 гг. не превышал 2,5 м, а в 1950—

¹Подобед В. В., Нестеров В. В. Общая астрометрия. М., 1975.

1955 г. достигал 9,5 м. В среднем за последние 90 лет он составлял 5,1 м.

При рассмотрении траектории движения полюса за все имеющиеся 90 лет наблюдений заметно, что спиралеобразная траектория мгновенного полюса постепенно сползает в направлении меридиана 70° з. д. со скоростью около 0,13 м в год. Иначе говоря, средний полюс испытывает вековое движение. К сожалению, точность определения векового движения полюса еще столь низка, что его реальность остается под вопросом.



Изменение скорости вращения Земли за последние 30 лет: среднемесячные величины (I), скользящие среднегодовые величины (II). Метки на оси абсцисс обозначено начало года. На фоне долгопериодических изменений заметны сезонные колебания скорости вращения Земли. Впадины кривой I, отмечающиеся обычно в ноябре и апреле, соответствуют минимальной скорости, в гребни в июле и январе — максимальной скорости вращения Земли. Видно, что сезонные колебания сильно меняются от года к году. Приливные колебания с месячным и полумесячным периодами не обнаруживаются из-за недостаточного разрешения.

ПРИРОДА ПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ

Чем же обусловлена неравномерность вращения Земли и движение полюсов? Имеется очень много процессов, которые в принципе могут влиять на вращение Земли. Это, например, изменения в распределении воздушных масс в атмосфере, снежного и ледяного покровов, осадков и растительности на земной поверхности, вариации уровня Мирового океана, взаимодействие ядра и мантии Земли, извержения вулканов, землетрясения, воздействия внешних сил и т. д. Тщательные оценки вклада этих процессов позволили выявить наиболее существенные из них.

Оказалось, что заметную роль в коле-

баниях скорости вращения Земли с периодами менее одного месяца играют земные приливы. Приливообразующая сила растягивает Землю вдоль прямой, соединяющей ее центр с центром возмущающего тела — Луны или Солнца. Момент инерции² «сплюсщенной» Земли больше, чем недеформированной шарообразной планеты. А поскольку момент импульса Земли (т. е. произведение ее момента инерции на угловую скорость) должен оставаться постоянным, то скорость вращения «сплюсщенной» Земли меньше, чем недеформированной.

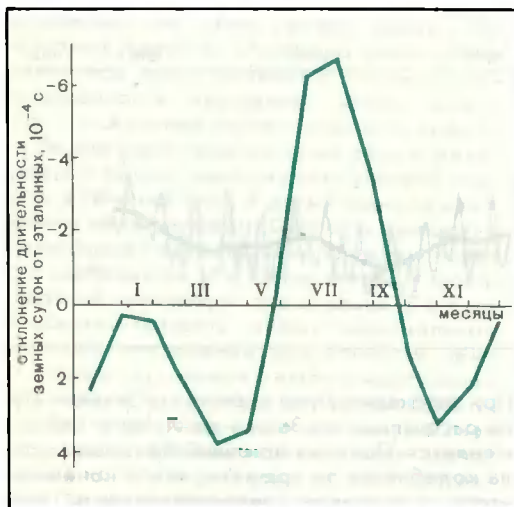
При движении Луны и системы Земля—Луна расстояние от Земли до Луны и Солнца меняется. Поэтому приливообразующая сила колеблется во времени, что в конечном итоге и вызывает неравномерность вращения Земли. Наиболее значительными из этих приливных изменений скорости вращения Земли являются колебания с полумесячным и месячным периодами.

Приливные выступы постоянно перемещаются по земной поверхности вслед за Луной и Солнцем с востока на запад, т. е. в направлении, обратном суточному вращению Земли. Естественно, что при таком перемещении в океанах и в Земле возникают силы трения, которые тормозят вращение Земли. Благодаря этому и должно происходить вековое замедление вращения Земли. Оценки показывают, что из-за этого сутки должны удлиниться на 0,003 с за 100 лет. Таким образом, неравномерности вращения Земли, представленные на наших рисунках, почти не связаны с влиянием приливов, а вызываются другими причинами.

В течение года массы воздуха и влаги (воды, снега и льда) перераспределяются

² Момент инерции частицы относительно оси вращения Земли равен произведению ее массы на квадрат расстояния до оси. Момент инерции Земли — сумма моментов инерции составляющих ее частиц.

между материками и океанами, а также между Северным и Южным полушариями. Так, в январе масса воздуха над континентом Евразия на $6 \cdot 10^{15}$ кг больше, чем в июле. От января к июлю из Северного полушария в Южное переносится $4 \cdot 10^{15}$ кг воздуха. В течение всей зимы происходит накопление снега в северных районах Евразии и Северной Америки. Весной же снег тает и влага возвращается в Мировой океан. Все это меняет момент инерции Земли и в какой-то степени сказывается на ее вращении. Оценки показывают, что сезонное



Среднее сезонное колебание скорости вращения Земли. Медленнее всего Земля вращается в апреле и ноябре, а наиболее быстро — в июле-августе и январе.

перераспределение воздушных и водных масс мало влияет на сезонную неравномерность вращения Земли, но почти полностью обуславливает вынужденное движение полюсов.

Свободное движение полюсов возникает, как мы уже говорили, когда ось вращения Земли отклоняется от оси наибольшего момента инерции Земли. Однако оно должно затухать со временем, так как энергия свободного движения полюсов превращается в Земле в тепло.

Отсутствие затухания свободного движения полюса указывает на то, что имеются какие-то процессы, непрерывно его поддерживающие. К таким процессам относятся землетрясения, электромагнитное взаимодействие ядра и мантии Земли, лунно-солнечную прецессию и т. д. Наиболее

вероятно, что свободное движение полюсов поддерживается постоянно текущими гидрометеорологическими процессами³.

Исследования последней четверти века показали, что главная причина сезонной неравномерности вращения Земли есть атмосферная циркуляция. Известно, что в среднем атмосфера движется относительно земной поверхности в низких широтах с востока на запад (дуют восточные ветры), а в умеренных и высоких — с запада на восток (преобладают западные ветры). Момент импульса восточных ветров отрицателен, а западных — положителен. Можно было бы думать, что эти моменты компенсируют друг друга и момент импульса ветров всей атмосферы всегда равен нулю. Однако расчеты показывают, что момент импульса восточных ветров в несколько раз меньше момента импульса западных ветров⁴. Поэтому момент импульса ветров всей атмосферы не равен нулю, а составляет в среднем за год $+13 \cdot 10^{25}$ кг \cdot м² \cdot с⁻¹. Его величина меняется в течение года от $+14,5 \cdot 10^{25}$ кг \cdot м² \cdot с⁻¹ в апреле и ноябре до $+9 \cdot 10^{25}$ кг \cdot м² \cdot с⁻¹ в августе.

Момент импульса — это такая физическая величина, которая не может возникнуть или уничтожиться. Она способна лишь перераспределиться. В рассматриваемом случае перераспределение происходит между атмосферой и Землей. Когда момент импульса атмосферы увеличивается, т. е. усиливаются западные или ослабевают восточные ветры, момент импульса Земли уменьшается, т. е. замедляется ее вращение. Когда же момент импульса атмосферы уменьшается (ослабевают западные или усиливаются восточные ветры), вращение Земли ускоряется. Суммарный момент импульса Земли и атмосферы всегда остается неизменным. Этот результат может служить хорошей иллюстрацией того, что закон сохранения момента импульса справедлив не только в физических лабораторных экспериментах, но и в глобальных масштабах в природе.

Факт, что момент импульса ветров всегда положителен, говорит о том, что атмосфера в целом вращается вокруг оси быстрее Земли. Уподобляя движение атмосферы в целом вращению твердого тела, можно сказать, что период обращения атмосферы вокруг оси составляет в апреле

³ Манк У., Макдональд Г. Вращение Земли. М., 1964.

⁴ Сидоренков Н. С. — Известия АН СССР. Сер. Физика атмосферы и океана, 1976, т. 12, № 6, с. 579.

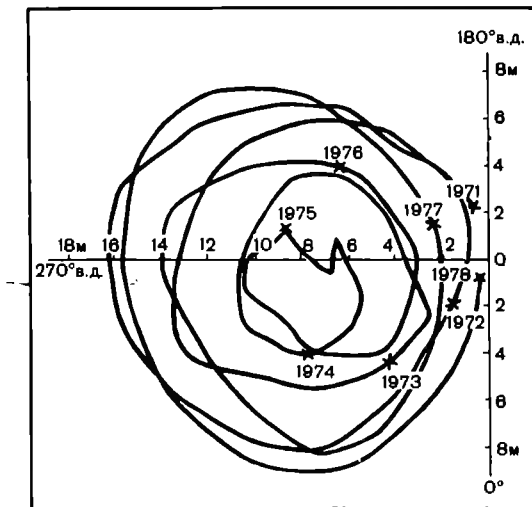
и ноябре 23 ч 36 мин, а в августе — 23 ч 43 мин. В среднем за год сутки для атмосферы делятся 23 ч 38 мин, а не 23 ч 56 мин, как для Земли.

Иногда думают, что раз атмосфера обгоняет Землю в суточном вращении, то она должна непрерывно ускорять вращение Земли. Однако на неравномерность вращения Земли влияют лишь изменения момента импульса ветров. Постоянная же величина момента импульса ветров была заимствована атмосферой у Земли в момент формирования атмосферной циркуляции. Тогда скорость вращения Земли немного замедлилась (длительность суток возросла на 0,002 с) и остается таковой в настоящее время. Если источник, поддерживающий ветры в атмосфере, — Солнце — иссякнет, то атмосферная циркуляция прекратится, момент импульса ветров «стечет» к Земле и длительность суток примет свое первоначальное значение (уменьшится на 0,002 с).

Атмосферу, неравномерно разогретую по горизонтали солнечными лучами, можно рассматривать как тепловую машину. Она превращает тепловую энергию Солнца в кинетическую энергию ветров. Наиболее теплые части атмосферы в этом случае выполняют роль нагревателя, а самые холодные — холодильника. Рабочим телом служит сам воздух. В современной физике атмосферы известны несколько тепловых машин. Важнейшими из них являются тепловые машины, порождаемые контрастом температур между экватором и полюсами. Известный советский геофизик В. В. Шулейкин назвал их тепловыми машинами первого рода⁵. Одна из них работает в Северном полушарии, а другая — в Южном. Благодаря этим машинам, поддерживаются наблюдаемые восточные ветры в низких широтах и западные — в умеренных и высоких. Чем больше контраст температур экватор—полюс, тем интенсивнее атмосферная циркуляция в данном полушарии и тем больше величина момента импульса ветров.

Контраст температур в каждом полушарии колеблется с годовым периодом. Он бывает наибольшим зимой, а наименьшим — летом. Поэтому момент импульса ветров Северного полушария, удерживаемый тепловой машиной первого рода, совершает гармонические колебания с периодом один год от максимального значения

в январе до минимального в июле. В Южном полушарии годовое колебание имеет противоположную фазу: момент импульса ветров максимален в июле, а минимален — в январе. Поэтому годовые колебания ветров Северного и Южного полушарий компенсируют друг друга и момент импульса ветров всей атмосферы должен оставаться почти постоянным. Итак, тепловые машины первого рода обуславливают появление в атмосфере положительной величины момента импульса ветров, но почти не влияют на наблюдаемые его сезонные колебания.



Траектория движения мгновенного Северного полюса Земли. По осям, которые направлены вдоль меридианов Гринвича, 270° в. д. и 180° в. д., отложено расстояние на поверхности Земли в метрах. Звездочками обозначено начало года. Движение полюса происходит с запада на восток по спиралевидной кривой, которая то закручивается (1971—1974 гг.), то раскручивается (1975—1978 гг.).

Долгое время оставалось неясным, почему момент импульса ветров всей атмосферы испытывает наблюдаемые сезонные колебания. В 1975 г. было обнаружено⁶, что в верхних слоях атмосферы самой теплой областью является не экватор и не параллель, на которой Солнце в полдень бывает в зените, а полярная «шапка» летнего полушария (в июле — северная, а в январе — южная). Оказалось, что средняя температура воздуха непрерывно убывает от полюса летнего полушария до полюса зимнего (в июле — от Северного полюса до

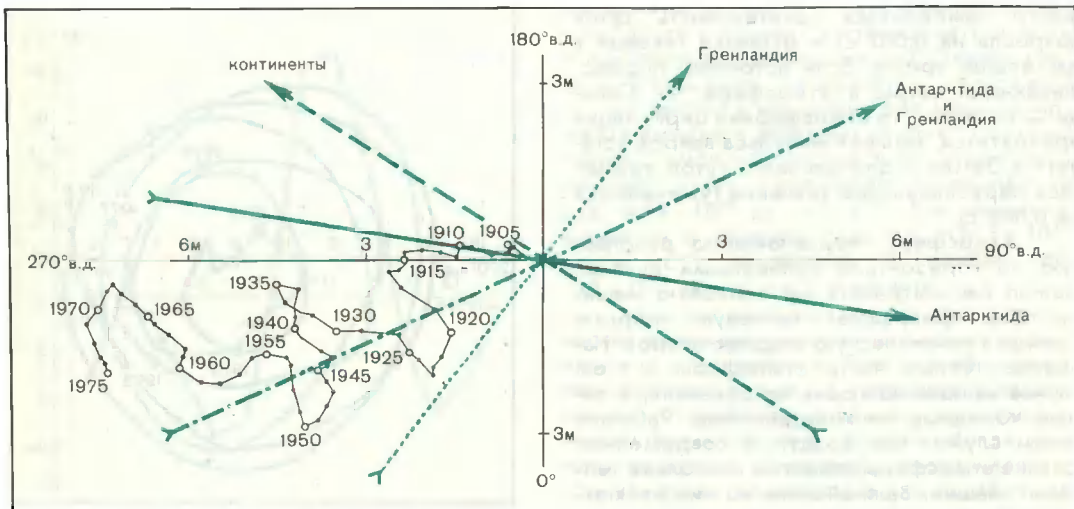
⁵ Шулейкин В. В. Взаимодействие звеньев в системе «Океан—Атмосфера—Материк». — Природа, 1971, № 10, с. 12.

⁶ Сидоренков Н. С. — Доклады АН СССР, 1975, т. 221, № 4, с. 835.

Южного, а в январе — от Южного полюса до Северного). Стало ясно, что в атмосфере которой является атмосфера летнего полушария, а холодильником — атмосфера зимнего полушария. Эта междуполушарная тепловая машина препятствует работе тепловых машин первого рода. Она уменьшает величину момента импульса ветров, удерживаемую в атмосфере тепловыми машинами первого рода. Чем больше контраст температур между полушариями, тем значительнее этот эффект. В январе и июле,

рость вращения Земли становится минимальной.

Различие величин июльского и январского максимумов скорости вращения Земли связано с тем, что атмосфера Северного полушария в среднем за год теплее атмосферы Южного полушария. Поэтому контраст температур между полюсами в июле значительно больше, чем в январе. Если бы подстилающие поверхности в Северном и Южном полушариях были одинаковы, то величины январского и июльского максимумов скорости вращения Земли не различа-



Траектория смещения среднего Северного полюса за период 1900—1975 гг. по данным Международной службы широты. Оси координат направлены вдоль 0° — 180° и 90° — 270° в. д. По ним отложено расстояние в метрах. Полюс смещается в среднем по меридиану 300° в. д. Стрелками указаны направления смещений полюса в случае накопления льда в отдельных ледниковых районах (Антарктиде, Гренландии, Антарктиде и Гренландии) и на всех континентах. В случае таяния льда в указанных районах направление смещений меняется на противоположное. Наблюдаемое смещение Северного полюса соответствует таянию льда в Антарктиде и Гренландии.

когда работа междуполушарной тепловой машины наиболее интенсивна, момент импульса ветров уменьшается до минимальных значений и скорость вращения Земли достигает максимальных величин. В апреле и ноябре температурные различия между атмосферой Северного и Южного полушарий выравниваются; междуполушарная тепловая машина прекращает свою работу, поэтому в атмосфере удерживается предельно большая величина момента импульса ветров и ско-

лись бы. Интенсивность работы междуполушарной тепловой машины меняется от года к году. В соответствии с этим меняются и параметры сезонных колебаний скорости вращения Земли.

ПРИРОДА ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ

Долгопериодические изменения скорости вращения Земли слишком велики, чтобы их можно было объяснить так же, как и сезонные колебания, перераспределением момента импульса между атмосферой и Землей. Так, например, замедление скорости вращения с 1961 по 1972 г. было таким, что момент импульса Земли уменьшился на $14 \cdot 10^{25} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$. Если бы это замедление произошло из-за перераспределения момента импульса между Землей и атмосферой, то момент импульса ветров в 1972 г. был бы на $14 \cdot 10^{25} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ больше, чем в 1961 г. Другими словами, скорость ветров в атмосфере к 1972 г. должна была бы уве-

личиться почти в два раза. Однако столь больших долгопериодических колебаний в атмосферной циркуляции нет. Такие же простые оценки изменений момента инерции Земли, требуемых для объяснения долгопериодической неравномерности вращения Земли, дают неестественно большие величины. Поэтому до последнего времени считалось, что долгопериодическая неравномерность вращения Земли не может вызываться геофизическими процессами, протекающими на земной поверхности. Ее обычно связывали с такими внутриземными процессами, как взаимодействие ядра и мантии Земли, перекристаллизация некоторых пород, слагающих Землю. Однако наблюдательных данных, которые бы подтверждали существование этих процессов внутри Земли, в настоящее время нет.

В последние годы получен ряд эмпирических фактов, которые заставляют пересмотреть эти взгляды на природу межгодовой неравномерности вращения Земли. Расскажем о них по порядку.

Влияние атмосферы на вращение Земли можно оценить не только в результате подсчета изменения момента инерции и момента импульса атмосферы, но и путем вычисления моментов сил, действующих на Землю со стороны атмосферы. К ним относятся, как известно, моменты сил трения ветра о подстилающую поверхность и моменты сил давления на горные хребты, которые, подобно парусам, стоят на пути ветров. Для того чтобы определить эти моменты сил, требуются данные о полях ветра или атмосферного давления в приземном слое над всей Землей. Зная суммарный момент сил, легко вычислить ускорение и неравномерность вращения Земли. Автор воспользовался этим методом момента сил и вычислил неравномерность вращения Земли за 1956—1977 гг. по данным о полях среднемесячного атмосферного давления на уровне моря над всем земным шаром за указанный период⁷.

Расчеты показали, что не только сезонная, но и долгопериодическая неравномерность вращения Земли вызывалась в 1956—1977 гг. механическим воздействием атмосферы на Землю. Этот результат указывает на существование переноса «порций» иногда положительного, а иногда отрицательного момента импульса через приземный слой атмосферы, что приводит к долгопериодической неравномерности вра-

щения Земли. Соответствующие же изменения момента импульса ветров, необходимые для выполнения баланса, не наблюдаются. Поэтому должен быть какой-то «поставщик» момента импульса в атмосферу. Естественно было предположить, что атмосфера получает момент импульса либо из околоземного космического пространства, либо от Земли — в процессе долгопериодического перераспределения влаги между океаном и сушей. Оценки показали, что поток момента импульса из космоса прибрежимо мал, и дальнейшие усилия были направлены на исследования роли перераспределения влаги.

Как известно, около 2% всей воды на Земле находится в замерзшем состоянии (в основном в виде льда). Общая масса льда в современную эпоху равна около $28,4 \cdot 10^{18}$ кг; из этого числа 90% приходится на ледниковый щит Антарктиды, 9% — на ледник Гренландии и менее 1% составляет масса льда всех остальных горных ледников. Площади ледниковых щитов составляют: в Антарктиде $13,9 \cdot 10^{12}$ м², в Гренландии $1,8 \cdot 10^{12}$ м², а горных ледников — $0,5 \cdot 10^{12}$ м².

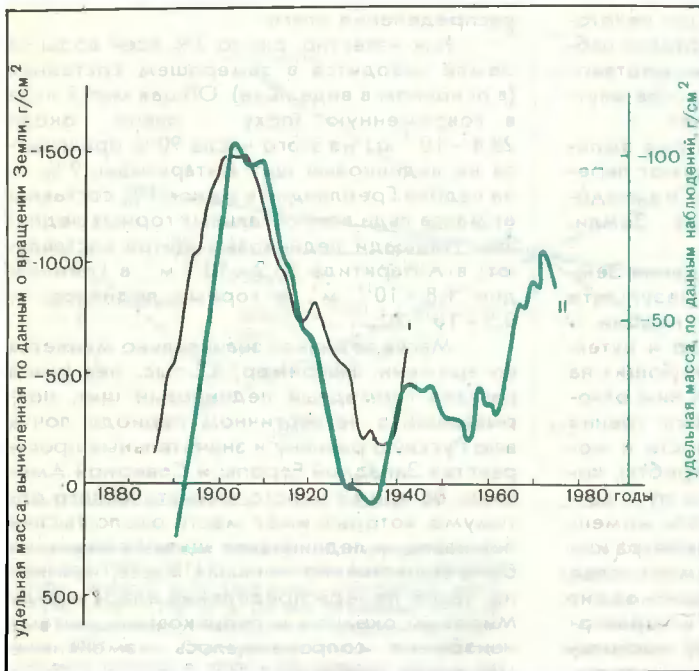
Масса ледников значительно меняется во времени. Например, 12 тыс. лет назад растаял громадный ледниковый щит, покрывавший в четвертичном периоде почти всю Русскую равнину и значительные пространства Западной Европы и Северной Америки. Во время малого климатического оптимума, который имел место около тысячи лет назад, у ледникового щита Гренландии была существенно меньшая масса, чем ныне. Такое перераспределение влаги между Мировым океаном и ледниковыми щитами неизбежно сопровождалось изменением момента инерции Земли и должно было приводить к какой-то неравномерности вращения Земли и движению полюсов.

Теория приводит к системе алгебраических уравнений, связывающих величину скорости вращения Земли и координаты полюса с массами льда в Антарктиде, Гренландии и воды в Мировом океане. Эти уравнения позволяют решать две задачи. Если известны массы льда в Антарктиде, Гренландии и Мировом океане, то можно вычислять характеристики вращения Земли — координаты полюса и скорость вращения Земли. Если же эти массы неизвестны, но имеются характеристики вращения Земли, то можно решить обратную задачу: по координатам полюса и скорости вращения Земли вычислять массы льда в Антарктиде, Гренландии и воды в Мировом океане. Воспользовавшись данными о вращении Земли

⁷ Сидоренков Н. С. — Астрон. ж., 1979, т. 56, № 1, с. 187.

за последние 90 лет, мы решили обратную задачу⁸. К сожалению, мы не смогли сопоставить ряды вычисленных масс льда в Гренландии и воды в Мировом океане с данными наблюдений из-за отсутствия последних. Лишь для Антарктиды удалось сопоставить вычисленную кривую изменений массы льда с наблюдаемой. Качественное согласие кривых оказалось столь хорошим, что связь долгопериодической неравномерности вращения Земли с флуктуациями глобального водообмена кажется возможной. Однако вычислен-

но вязкой жидкости. Тогда долгопериодический глобальный водообмен может вызвать скольжение литосферы по астеносфере, не оказывая заметного влияния на более глубокие слои Земли. При проведении астрономических наблюдений изменения скорости дрейфа литосферы будут регистрироваться как «неравномерность вращения Земли» и «движение полюсов». Но на создание таких кажущихся «неравномерностей вращения Земли» и «движения полюсов» требуются перераспределения влаги, в 29 раз меньшие, чем для действитель-



Изменение со временем массы льда в Антарктиде: по данным эмпирических наблюдений, по В. Н. Петрову (I) и вычисленные по данным о вращении Земли (II). В конце прошлого столетия и с 1935 по 1972 г. масса льда Антарктиды уменьшалась, а с 1903 по 1935 г. увеличивалась.

ные колебания глобального водообмена почти в 29 раз больше наблюдаемых.

Эти противоречивые результаты, возможно, свидетельствуют о том, что наблюдаемые особенности вращения есть не неравномерность вращения и движение полюсов всей Земли, а лишь изменение скорости дрейфа литосферы по астеносфере. В самом деле, моменты сил одного знака, возникающие в процессе долгопериодического глобального водообмена, действуют в течение десятилетий. Возможно, что лежащее под литосферой вещество астеносферы при столь длительных воздействиях ведет себя не как твердое тело, а течет, по-

ных неравномерностей вращения и движения полюсов всей Земли. В пользу этой гипотезы говорит неоднократно отмечаемая корреляция сейсмической активности с неравномерностью вращения Земли.

Колебания глобального водообмена зависят от изменений климата Земли. С этих позиций становится понятной связь долгопериодической неравномерности вращения Земли с изменениями различных климатических индексов. Например, моменты наиболее резких нарушений режима вращения Земли за последние триста лет, имевшие место в 1870 и 1935 гг., совпадают с эпохами окончания «малого ледникового периода» и потепления Арктики. Последнее значительное изменение режима вращения Земли, наблюдавшееся в 1972 г.,

⁸ Сидоренков Н. С. — Метеорол. и гидрол., 1980, № 1, с. 52.

памятно по исключительно жаркому и засушливому лету на Европейской территории СССР. Замечено, что каждому режиму вращения Земли соответствует своя преобладающая форма атмосферной циркуляции и, следовательно, свой режим погоды в различных районах земного шара.

Колебания климата имеют характерные времена, равные не только десятилетиям, но и значительно более длительным периодам. Нерегулярные изменения скорости вращения Земли, вероятно, также могут иметь характерные времена порядка столетий и тысячелетий. Поэтому оценки скорости векового замедления вращения Земли, которые обычно проводятся за интервал менее 2000 лет, вряд ли можно связывать только с приливным замедлением. Они могут включать нерегулярные изменения, которые искажают искомую скорость приливного замедления. Так, например, прослеживаемую в последние два столетия тенденцию к замедлению скорости вращения Земли можно объяснить таянием ледниковых щитов Гренландии и Антарктиды. Этому соответствует и среднее направление векового движения полюса.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ О ВРАЩЕНИИ ЗЕМЛИ В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ

Изучение неравномерности вращения Земли и движения полюсов перспективно в целях решения обратных задач. Дело в том, что определять колебания глобальных характеристик атмосферы или гидросферы значительно сложнее, нежели отражающих их колебаний скорости вращения Земли и движения полюсов. Так, для того чтобы один раз вычислить момент импульса ветров, необходимо собрать данные о распределении ветра с высотой по возможности со всех аэрологических станций мира, произвести их объективный анализ (т. е. интерполяцию и экстраполяцию) и вычислить численным путем интеграл по объему, занятому атмосферой. Поскольку нас интересуют изменения момента импульса ветров во времени, то эти громоздкие и трудоемкие вычисления должны вестись регулярно от дня ко дню или, по крайней мере, от месяца к месяцу. Неудивительно, что такая работа до сих пор нигде не ведется. Данные же о неравномерности вращения Земли позволяют без труда определять колебания момента импульса ветров почти с той же точностью. Для этого достаточно лишь учесть некоторые известные поправки.

Таким путем выяснено, что момент импульса ветров колеблется в течение года, имея два максимума (в ноябре и апреле) и два минимума (в августе и январе). Установлено, что величины минимумов меняются, обнаруживая почти двухлетнюю и шестилетнюю цикличность.

Сезонная неравномерность вращения Земли отражает работу междуполушарной тепловой машины и может использоваться в качестве показателей разности температур, интенсивности циркуляции воздуха и обмена влагой между Северным и Южным полушариями. Этот подход указывает, что августовские значения перечисленных характеристик меняются с шестилетним, а январские — почти с двухлетним периодами.

Интересные результаты получены при анализе перегрева Северного полушария по сравнению с Южным, т. е. разности среднегодовых температур Северного и Южного полушарий. Оказалось, что до 1962 г. перегрев Северного полушария по сравнению с Южным был значительным. В 1963 г. он резко уменьшился, что, по-видимому, было связано с загрязнением атмосферы в результате извержения вулкана Агунг (март 1963 г.). После 1963 г. перегрев увеличился, но не достиг величины, предшествовавшей 1962 г. В 1971—1972 гг. он резко уменьшился и до 1977 г. оставался малым. После 1977 г. перегрев резко возрос. Эти выводы, полученные по данным о сезонной неравномерности вращения Земли, хорошо согласуются с эмпирическими данными. По ним перегрев северной полярной области по сравнению с южной в начале 60-х годов был выше обычного на $0,7^\circ$, а в начале 70-х годов — ниже на $0,6^\circ$.

Долгопериодическая неравномерность вращения Земли и вековое движение полюса (при точном его определении), по-видимому, могут использоваться для расчета изменений масс льда в Антарктиде, Гренландии и воды в Мировом океане. Важное значение долгопериодическая неравномерность вращения Земли имеет для слежения и в какой-то степени для прогнозирования колебаний климата. Так, например, анализ ее указывает на то, что установившийся с 1972 г. климатический режим, вероятно, просуществует еще около двух десятков лет. Это означает, что в одних районах земного шара стало и, вероятно, до начала следующего столетия будет теплее и суше, а в других — прохладнее и влажнее. *

Встреча с сильфиумом через 2000 лет!

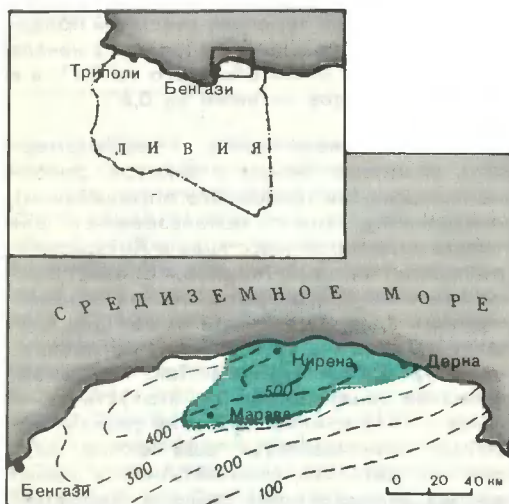
Н. Г. Харин,

член-корреспондент АН ТуркмССР
Институт пустынь АН ТуркмССР
Ашхабад

У. Пратов,

кандидат биологических наук
Институт ботаники АН УзССР
Ташкент

Сильфиум — одно из самых знаменитых и таинственных растений древнего мира — украшал некогда герб города Кирены, заложенного греческими колонистами в Африке недалеко от побережья Средиземного моря в VII в. до н. э. Торговля этим растением играла немаловажную роль в экономике древнего города; сильфиум был одним из предметов экспорта древней Ливии. Жители ее так высоко ценили сильфиум (сильфию), что преподнесли его в подарок Бактусу — первому греческому правителю Кирены. Со временем сильфиум исчез, и, якобы, один из последних экземпляров этого растения был преподнесен в дар императору Нерону.



Современный ареал тапси в Ливии.

Это был поистине царский подарок, ведь сильфиум ценился в то время на вес золота.

Из исторических документов, произведений древних писателей и дошедших до нас многочисленных легенд, в которых правда перемешана с вымыслом, можно почерпнуть самые разноречивые сведения об этом растении.

Сильфиум, если верить древним источникам, обладал замечательными свойствами, и прежде всего ценился как лекарственное растение. Диоскорид (I в. н. э.) приводит список болезней, которые излечивал сильфиум: золотуха, ишиас, геморрой, катаракта, болезни кожи, полипы в носу, опухоли на теле, кашель. По свидетельству Плиния Старшего (23 или 24—79 гг.), это было отличное средство от подагры, геморроя, желтухи, плеврита, выпадения волос. Древние эскулапы, широко применявшие сильфиум, давали и такие рецепты: для лечения растяжения мышц и судорог необходимо втирать экстракт сильфиума, смешанный с воском, а если сильфиум смешать с вином и мышиным пометом, то он исцеляет язвы, смешанный же с растительным маслом помогает от укусов скорпионов и змей. Считалось, что сильфиум успокаивает нервы, восстанавливает здоровье истощенных людей, залечивает раны и т. д.

Высоко ценили сильфиум и древние гурманы. По свидетельству Теофраста (ок. 372 — ок. 287 гг. до н. э.), привезенные в Грецию корни сильфиума, нарезанные ломтиками и приправленные уксусом, служили отличным лакомством. Плиний Старший утверждал, что после трюфелей и шампиньонов сильфиум стоит на первом месте, а Диоскорид рекомендовал это растение как прекрасную приправу к пище.

Сведения древних о действии силь-



Развалины Кирены.

Здесь и далее фото Н. Г. Харина.

фиума на животных очень разноречивы. Г. Кейт¹, обобщивший древнюю литературу о сильфиуме, сообщает, что овцы, на которых это растение оказывало снотворное действие, учуяв запах сильфиума, с жадностью поедали соцветия и добирались даже до корней. Мясо животных, отведавших сильфиум, по свидетельству одних, отличалось необычайным вкусом и имело приятный запах. По сообщениям других, сильфиум был ядовит для верблюдов. Козы же, отведав лакомый для овец сильфиум, чихали, поэтому пастухи угоняли скот подальше от тех мест, где встречалось это растение.

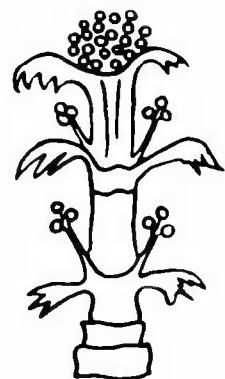
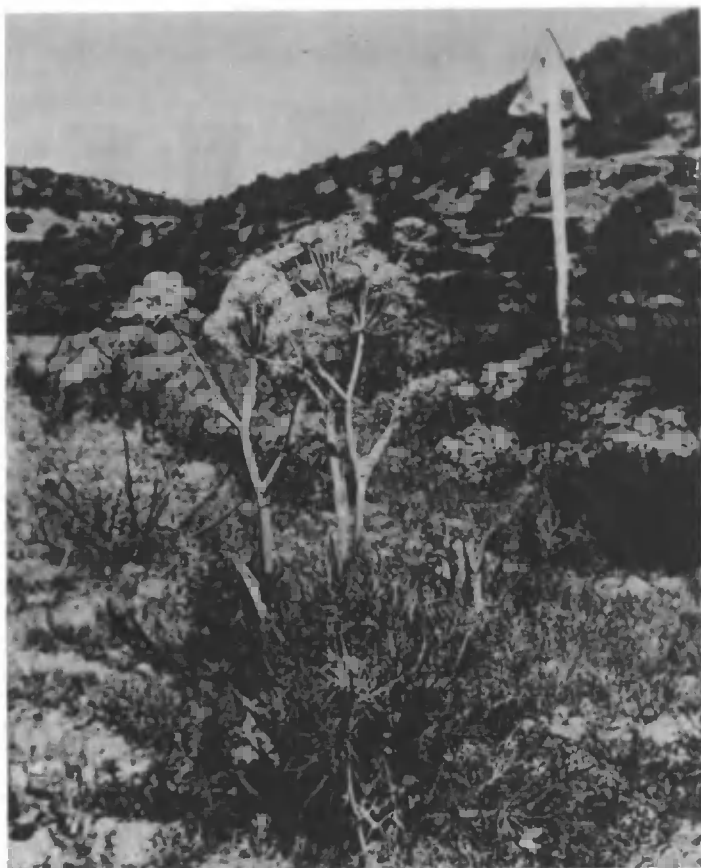
Таковы краткие сведения о свойствах таинственного сильфиума, исчезнувшего, как считалось, в I или II в. н. э. Что же это за растение, и действительно ли оно исчезло? Ответ на этот вопрос пытались найти многие исследователи, почему и существует даже специальная «сильфиумная» литература.

Об экологии сильфиума, его биологи-

ческих и морфологических особенностях дошли до нас скудные сведения. В древнем мире общепризнанным было мнение, что сильфиум растет только в Ливии, вернее, в той ее части, которая известна под названием Киренаики, только на самой плодородной земле. Античные авторы считали, что там, где растет сильфиум, — там жизнь и процветание, где его нет, — пустыня и смерть.

До наших дней дошло несколько изображений сильфиума. Если судить по рисунку с изображением сильфиума и газели, ошипывающей листья этого растения (рисунок хранится в Британском музее), — это довольно крупное растение. Несколько изображений сильфиума, в том числе его семян, найдено на медалях и монетах Кирены. К сожалению, эти изображения не позволяют составить представления об истинном виде древнего сильфиума — они слишком разноречивы. На медалях листья его расположены супротивно, что совершенно не свойственно семейству зонтичных, принадлежность к которому сильфиума признается большинством исследователей. На монете же изображено растение с очередным расположением листьев, его цветки в виде зонтиков находятся в пазухах

¹ Кейт Н. Г. *Libyan flora*. L., 1965, v. 1, 2.



Современная тапсия.

Изображение сильфиума на медальях Кирены (справа, внизу).

Изображение сильфиума на монете Кирены, найденной в 1957 г.

листьев, которые рассечены на линейные дольки. Все это — морфологические признаки зонтичных.

Остается только сожалеть, что древние греки и римляне не оставили нам подробных научных описаний этого растения и не обеспечили сохранность гербарных образцов (если таковые имелись в то время). Поэтому ограничимся анализом дошедших до нас сведений о сильфиуме. Древние авторы следующим образом характеризовали это растение:

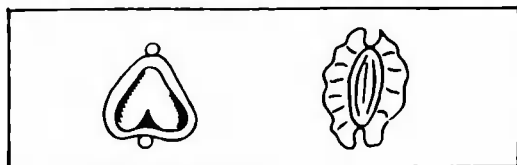
Теофраст: «Стебель сильфиума такой же крупный, как у ферулы, а листья напоминают листья петрушки».

Диоскорид: «...зерна крупные, а листья напоминают петрушку».

Плиний Старший: «Зерно сплющено, как лист, кора на корне черная, листья сильно напоминают листья петрушки, а побеги отрастают весной».

Так что же это за растение? 1) сильфиум — это крупное травянистое растение; 2) стебель напоминает ферулу; 3) листья похожи на листья петрушки (однако на известных нам изображениях они совсем не похожи на листья петрушки); 4) семена имеют сердцевидную форму; 5) сильфиум размножается не семенами, а побегами.

Нам неизвестно, был ли найден снова сильфиум арабскими ботаниками и врачами средневековья, собиравшими лекарственные растения в Африке, поэтому перейдем сразу к более поздним временам, когда «сильфиумный» вопрос снова был поднят учеными. Ф. Геринк (1876), обобщивший материалы по исследованию сильфиума, пишет, что в 1817 г. итальянец Делла Челла нашел в Киренаике растение из семейства зонтичных, которое напоминало, по его мнению, сильфиум древних. Впо-



Ветка тапсии.

Фрукты сильфиума, изображенные на медалях Кирены, (слева) и тапсии.

следствии Вивiani дал найденному растению название *Thapsia silphium* Viv. Вивiani писал, что это растение напоминает одновременно и сильфиум и известное растение *Thapsia garganica* L., описанное К. Линнеем. Однако Делла Челла и Вивiani не были полностью уверены в том, что они правильно идентифицировали сильфиум. Впоследствии же стало очевидным, что *Thapsia silphium* и *Thapsia garganica* L.— это одно и то же растение. Что же касается его лечебных свойств, то Геринк решительно отвергал спекуляции на эту тему, появившиеся в XIX в. Он считал, что *Thapsia garganica* L. не обладает ни целебными свойствами, ни пищевыми качествами, приписываемыми сильфиуму. Мало того, и Геринк и Делла Челла единодушно считали это растение ядовитым для животных.

100 лет назад французский ботаник и путешественник Дано прошел путь с караваном верблюдов от Бенгази до Дерны. Примерно на половине этого пути он нашел растение, которое одновременно походило и на сильфиум древних, и на *Thapsia garganica* L., и на *Thapsia silphium* Viv. По утверждению Дано, корень найденного им растения, оставаясь в любом возрасте коричневым, разветвляется не в молодом возрасте, а в более позднем как у *Thapsia garganica*, причем боковые корни не имеют почек, из которых могли бы вырасти побеги нового растения. Стало быть, утверждения древних о размножении сильфиума от корня неверны, а растения, по наблюдениям Дано, размножаются только семенами.

Стебель найденного Дано растения, слегка бороздчатый, сизый, покрыт легким светлым налетом. Сок растения, высыхая, становится коричневым. Семена то гладкие, то волнистые со светло-желтыми крыльями, при созревании желтеют, а когда становятся твердыми, приобретают более темную окраску. Листья очередные, а не супротивные как у растения, изображенного на медалях Кирены. Но несмотря на это, Дано утверждает, что сильфиум и *Thapsia garganica* одно и то же растение.

Сильфиумисты XX в. также отождествляли сильфиум с *Thapsia garganica* L. В частности, А. Троттер (1915) приводит его под названием *Thapsia garganica* L. var. *silphium* (Viv) Aschers. Кейт перечисляет и другие ныне существующие растения, с которыми когда-либо отождествляли сильфиум: морковь (*Daucus* sp.), дягиль лекарственный (*Angelica officinalis*), шалфей лесной (*Salvia salvatica*), ферула дурнопахнущая (*Ferula asa-foetida*), ферула мраморная (*Ferula marmarica*).

Из всех этих растений распространение только одного — *Ferula marmarica* — в какой-то мере совпадает с предполагаемым ареалом сильфиума. Что же касается других растений, то существование в Ливии *Ferula asa-foetida* сомнительно (это в основном среднеазиатский вид), а *Angelica officinalis* и *Salvia salvatica* в существующих сводках по флоре Ливии вообще не значатся. Итак, остается предположить, что сильфиум — это *Thapsia garganica*.

Работая в Ливии в составе советской почвенно-экологической экспедиции (1977—1979 гг.) мы прошли по маршруту Дано в поисках сильфиума. Наше путешествие было лишено романтической окраски; свойственной путешествиям прошлого века. Нам не пришлось просить разрешения у шейхов местных племен на посещение этой мест-

ности, как это делал Дано. У нас не было верблюдов и лошадей, мы передвигались по прекрасной автостраде на советском «джипе», как называют здесь наш «газик».

Примерно на полпути от Бенгази до Дерны мы нашли первые экземпляры *Thapsia garganica*. Это были довольно крупные растения, хорошо выделяющиеся своими желтыми соцветиями на фоне других растений. При повторной поездке (первое путешествие мы совершили весной, а второе — летом), мы собрали зрелые семена тапсии.

Приведем подробное ее описание. Это — крупное многолетнее травянистое растение высотой до 1,5 м. Корневая система могучая, разветвленная, корни с темно-серой корой. Светло-зеленые стебли или одиночные, или их несколько, толстые, крепкие, гладкие с длинными междуузлиями. Листья очередные, прикорневые и нижние стеблевые до 60 см длины, сильно расчлененные с узколинейными долями, а стеблевые сравнительно мелкие, дольки листьев кверху сильно уменьшаются. Соцветие — очень крупная рыхлая многоветвистая метелка. Многоцветковые зонтики (обычно их не менее 40) расположены в пазухах листьев почти по всей длине стебля. Цветки обоеполые, на длинной ножке, околоцветник пятичленный, лепестки мелкие желтые. Плоды продолговато-эллиптические с широкими жесткими крыльями.

Теперь мы имеем возможность сравнить наши данные с тем, что было известно о сильфиуме. Совершенно очевидно, что расположение и строение листьев и зонтиков у тапсии очень напоминает растение, изображенное на монете Кирены (хотя древний художник придал изображению сильфиума стилизованный традиционный вид). Однако листья тапсии и сильфиума совсем не похожи на листья петрушки!.. Плоды найденного нами растения не похожи на плоды сильфиума, но совпадают по форме с плодами *Thapsia garganica*, описанными Дано. Все это вместе взятое с учетом экологии тапсии позволяет нам выдвинуть новую гипотезу — возможно, сильфиум древних представлял собой растение из рода *Thapsia*, исчезнувшее в I—II вв. н. э. В пользу этой гипотезы говорят близкие морфологические свойства сильфиума и тапсии, а также сходство в описании тех мест, где произрастал сильфиум, с ареалом современной тапсии, установленным нами. *Thapsia garganica* распространена на нагорье Джебель-эль-Ахдар на высоте 100—700 м над ур. м. Это действительно наиболее плодородная часть Киренаики (где нет сильфиума — там смерти!) и, как и силь-

фиум древних, приурочена к наиболее влажным районам (именно таково нагорье Джебель-эль-Ахдар).

Как по нашим собственным наблюдениям, так и по литературным данным, животные тапсию не едят. Предполагая, что причиной этого может быть токсичность растения, мы попросили одного из членов нашей экспедиции А. И. Ротаря выполнить некоторые биохимические анализы тапсии. Оказалось, что в стеблях, листьях и соцветиях содержится небольшое количество сапонинов, зато количество ядовитых гликозидов достигает 0,24 и 0,319% на сухое вещество в этих частях тапсии, а в корне — 0,517%. Поэтому вполне понятно, что животные не поедают это растение.

Заканчивая нашу встречу с сильфиумом, зададим снова тот же вопрос: что же это за растение? Сейчас существует несколько точек зрения:

1) сильфиум — это *Thapsia garganica* L. Действительно, внешний вид, расположение зонтиков и строение долек листа тапсии очень похожи на изображение сальфиума на монете Кирены. Современный ареал тапсии также подтверждает сведения о распространении сальфиума в Киренаике. Но мы не можем согласиться с отождествлением сальфиума и тапсии, так как она явно не обладает теми пищевыми свойствами, которые приписывались сальфиуму;

2) сильфиум — это одно из существующих ныне растений (возможно из рода *Ferula*). В поддержку такого мнения сторонники этой гипотезы ссылаются на древние источники, в которых говорится, что сальфиум напоминает ферулу, а его листья — листья петрушки;

3) сильфиум — это исчезнувшее к настоящему времени растение из семейства зонтичных, вероятно, это неизвестный нам род, близкий к родам *Ferula* и *Thapsia*.

Мы же предлагаем еще одну гипотезу. Возможно, сильфиум — это уже вымерший вид рода *Thapsia*, один из последних экземпляров которого был подарен императору Нерону. В поддержку этой гипотезы говорит огромное сходство сальфиума, изображенного на монете, и *Thapsia garganica* L. Что же касается оценки лекарственных и пищевых свойств тапсии, то для ответа на этот вопрос необходимо выполнить специальные исследования, которые ждут своего времени.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Седерлиндг-Брюдольф Х. ЦВЕТОК ИЗ КИРЕНАИКИ. М.: Наука, 1973.

Аристотелевская теория тяготения: качественный подход

В. П. Визгин



Виктор Павлович Визгин, кандидат философских наук, младший научный сотрудник Института истории естествознания и техники АН СССР. Работает в области философских вопросов естествознания; занимается методологией химии и некоторыми проблемами истории античной науки.

Актуальной методологической проблемой научного познания является проблема редукции, или сведения сложного к простому, качественного к количественному. При обсуждении этой проблемы речь идет не только о границах сведения нового качества («сложное») к свойствам некоторых исходных компонентов («простое»), но и о самой первичной методологической установке, задающей подход к построению знания о мире. Научное познание мира развивается в «поле» проблемного напряжения различных — в пределе противоположных — подходов. Особенный интерес представляет анализ истории такого рода методологических «конфликтов» для осознания перспектив развития современной науки.

Аристотель, с именем которого связано новое направление в научном сознании античности, в течение 20 лет был учеником Платона. Над входом в платоновскую Академию было написано: «Негеометр да не войдет». Платон считал, что только изучение математики, сопровождающееся установлением математической гармонии мира, позволяет «...облегчить самой душе ее обращение от становления к истинному бытию» (Государство, 525с 6—7)*. Согласно Платону, математический объект ближе к миру

истинного бытия, чем чувственно воспринимаемый, находящийся в процессе становления физический объект. Именно поэтому многообразию явлений вещественного мира выводится Платоном из «...сочетаний и взаимопереходов фигур» (Тимей, 61с 4—5).

Пожалуй, еще более последовательная редукционистская программа была выдвинута атомистами. Согласно этой программе, физические чувственно воспринимаемые качества полностью сводятся к геометрии и механике атомов. «В общем мнении, — говорит Демокрит, — существует сладкое, в мнении горькое, в мнении теплое, в мнении холодное, в мнении цвет, в действительности (существуют только) атомы и пустота» (Секст Эмпирик. Против математиков, VII 135).

Критическое отталкивание Аристотеля от платоновской программы и от атомизма явилось одним из источников формирования нового нематематического, а именно специфического качественного подхода. Генезис этого подхода, на наш взгляд, лучше всего можно раскрыть, внимательно

* При ссылках на древние источники в скобках указывается: название работы, номер книги (римскими цифрами), номер главы (арабскими), номер строфы (арабскими с латинской буквой) и номера строчек в строфе.— Прим. ред.

анализируя IV книгу аристотелевского трактата «О небе».

В IV книге «О небе» излагается космологическая теория элементов Аристотеля. Существенным моментом в истолковании элемента в этой книге является отношение Аристотеля к вполне определенному виду механического движения. Это является новым моментом, так как в теории элементов («корней») Эмпедокла элементы не связывались с определенными космическими движениями. Известная корреляция элементов и движений была, правда, внесена Платоном. У Платона огонь более подвижен, чем земля и вода, воздух же обладает промежуточной подвижностью. У Платона эти кинематические свойства стихий вытекали из его геометрической теории вещества (Тимей, 55е). У Аристотеля же мы находим чисто феноменологическую теорию тяжелого и легкого, совершенно свободную от всяких соображений о структуре стихий, включая математические соображения об их строении.

Аристотель строит свою космологическую теорию элементов, отталкиваясь от критикуемого им математического подхода Платона, с которым он сближает также и атомистов. Критика этого подхода, содержащаяся в книге «О небе», заканчивается таким общим выводом, предваряющим анализ элементов в плане исследования основных космологических свойств — легкого и тяжелого: «Таким образом, — заключает Аристотель, — различие между элементами обуславливается не фигурами, как это ясно из сказанного нами. Так как наиболее фундаментальными различиями являются различия, касающиеся свойств, воздействий и сил, то нашей первой задачей должно быть исследование этих определений, после чего мы сможем понять те различия, которые отличают одно [тело] от другого» (О небе, III, 8, 307b 18—26). В этом тексте, после которого Аристотель прямо переходит к исследованию свойств или качеств легкого и тяжелого, он противопоставляет платоновский геометрический подход своему нематематическому подходу. Согласно Аристотелю, наиболее фундаментальные определения — это не фигуры и не числа, а качества, функции или действия вещей и соответствующие им силы или потенции.

Тяжелое и легкое — это и качества, и, одновременно, силы, выражающиеся в определенных действиях или движениях. Само вычленение этих качеств из многообразия качеств, присущих вещам, обуслов-

лено потребностями понимания феномена движения. Проблема движения ставится здесь в специфическом космологическом плане: как движутся вещи в космосе, как нужно «строить» космос — порядок вещей и порядок их движений? Аристотель прямо говорит, что различие тяжелого и легкого порождено анализом проблемы движения: «Изучение этих вопросов, — подчеркивает он, — относится, собственно говоря, к обсуждению проблемы движения, так как мы называем вещь тяжелой или легкой, отталкиваясь от того обстоятельства, что она способна естественно двигаться определенным образом» (там же, IV, 1, 307b 29—33). Тяжелое и легкое могут рассматриваться как внутренне присущие вещам подлунного мира начала их космической подвижности.

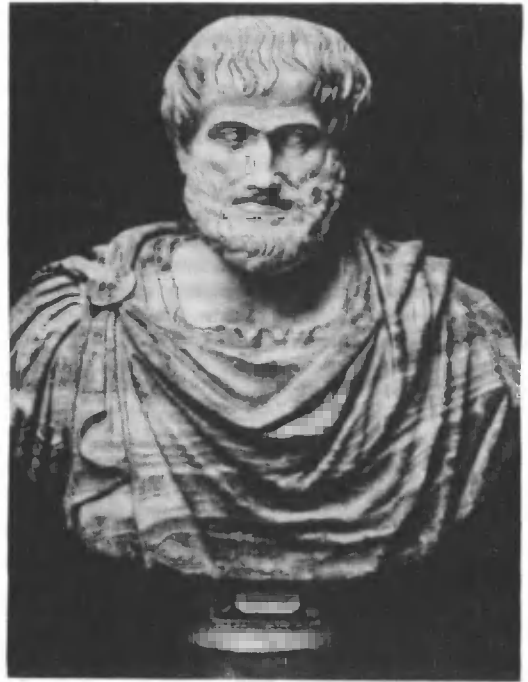
Исходным и основополагающим моментом в аристотелевской теории тяжелого и легкого является различие двух смыслов этих понятий: абсолютного и относительного. Новизна аристотелевского подхода к этой проблеме связана именно с утверждением абсолютности этих качеств, притом обоих в равной мере. Определение абсолютно тяжелого и абсолютно легкого предваряется абсолютным различием космического пространства. Аристотель рассматривает космос как «конкретное» неоднородное пространство, структура которого задается наличием абсолютного центра и периферии. Эта структура мира, задаваемая оппозицией «центр — периферия», обосновывается общефизическими и даже метафизическими представлениями Аристотеля о недопустимости актуально бесконечных космических тел, о необходимости конечности всех физических процессов, всякого движения. Движение мыслится Аристотелем в свете принципа противоположностей, традиционных представлений, приписывающих противоположностям фундаментальную роль в строении мира. Очевидно, что принцип противоположностей означает необходимость конечности движения, о которой как о предпосылке дихотомии мира на центр и периферию Аристотель говорит в тексте IV книги «О небе». «Никакое движение, — подчеркивает Аристотель, — не может продолжаться до бесконечности» (там же, 4, 311b 32). Поэтому, заключает он, должен быть абсолютный «конец» движения — центр космоса. Периферия же выводится на основе применения схемы противоположностей.

Заметим, что Аристотель восстанавли-

ливаает эту традиционную схему в правах, критикуя, в частности, редукцию одной противоположности к другой. Фактическое устранение этой схемы Аристотель подвергает критике и у атомистов, и у Платона. Аристотель критикует этих философов за отрицание ими наличия в космосе абсолютного центра и абсолютной периферии. «Действительно,— говорит Аристотель,— абсурдно думать, что Небо не содержит ни верха, ни низа, как это некоторые утверждают» (1, 308a 16—17). Аристотель имеет в виду, видимо, как ранних философов, таких как Анаксимандр, так и Демокрита и Платона. Вселенная у этих философов однородна.

Аристотель специально подчеркивает этот момент, противопоставляя этой вселенной свой неоднородный, анизотропный и конечный космос.

Согласно Аристотелю, направления в мире неравноценны, так как неравноценны полюса его структуры: «верх» является более изначальным и более «ценным» по природе, чем «низ», так же как правое, по отношению к левому, что отмечает в своем комментарии Симпликий. В космологическом мышлении Стагирита мы видим ту черту, которую можно обозначить как принцип конкретности или предметности. У Аристотеля все — конкретно: конкретно число, которое всегда мыслится как число чего-то, каких-то определенных сущностей, конкретно пространство, которое мыслится как «естественное место» конкретного физического тела, конкретно направление в пространстве, которое мыслится как направление к «верху» или к «низу». Интересно заметить, что в этом принципе конкретности Аристотель в известном смысле «отступает» назад. Так, например, в чем-то его понимание числа ближе к пифагорейцам, чем к Платону¹. Но одновременно Аристотель делает превосходящий дальнейшее развитие шаг «вперед». Так, например, английский историк науки Т. Хит обращает внимание на то, что в замечании Аристотеля о предпочтительности в геометрии гипотезы о конечных, но сколь угодно длинных прямых линиях, гипотезе о бесконечных прямых линиях содержится



Аристотель [384—322 гг. до н. э.]. Рим. Музей Терм.

своего рода предвосхищение «римановской тенденции»².

К этому можно добавить, что принцип конкретности, диктующий необходимость телесно-физически мыслить пространство и геометрию мира в целом, стоит ближе к современной релятивистской космологии, чем, скажем, атомизм, допускающий существование беспредельного пустого пространства, взаимодействие которого с веществом полностью исключается. Конечно, в общей теории относительности связь гравитации и геометрии мыслится совсем иначе, чем у Аристотеля. Однако здесь нам важно подчеркнуть само наличие такой связи у Аристотеля, обратив при этом внимание на ее отсутствие как у атомистов, так и у Платона. Абсолютные «верх» и «низ» следуют с необходимостью из наличия абсолютных центра и периферии: «Очевидно,— говорит Аристотель,— что поскольку Небо содержит периферию и центр, то имеются также верх и низ» (там же, 308a 22—24).

¹ Этот момент аристотелевской трактовки числа подчеркивает Ж. Марнович: *Mar'kovič Ž.*— Bull. intern. de l'Acad. yougoslave des sci. et des beaux — arts; classe des sci. math. et natur., 1929, t. 37, p. 18.

² Heath Th. *A History of Greek Mathematics*, v. 1. Oxford, 1921, p. 343.

Исходя из этих космологических предпосылок, Аристотель строит классификацию естественных движений: «Имеются вещи,— говорит он, — которые по природе движутся от центра, и другие вещи, которые всегда движутся к центру» (там же, IV, 1, 308a 14—16). Эти естественные движения и составляют содержание понятий легкого и тяжелого. «Под абсолютно легким мы понимаем,— говорит Аристотель,— то, что движется кверху, к периферии, а под абсолютно тяжелым то, что движется к низу, в направлении к центру» (там же, 308a 29—30).

Свой подход к истолкованию свойств легкости и тяжести тел Аристотель формулирует, критически отталкиваясь от платоновской теории тяжести, изложенной в «Тимее». Чтобы не быть зависимым от аристотелевского прочтения «Тимея», обратимся непосредственно к Платону. Платон считает вес функцией количества вещества или массы тел, т. е. количественной функцией тел: «Когда одна и та же сила,— говорит он,— поднимает в высоту две вещи, меньшая вещь по необходимости больше повинуется принуждению, а большая — меньше, и отсюда большое именуется тяжелым и стремящимся вниз, а малое — легким и стремящимся вверх» (Тимей, 63c). Тяжелое, по Платону, это то, что труднее поддается «насилию», смещающему тело из родственного ему местонахождения, а легкое — поддается этому внешнему воздействию легче.

У Платона, таким образом, легкость и тяжесть — это всегда относительные меры сопротивления тел внешним воздействиям, выводящим их из «родственных» им сред, в которых им свойственно по природе находиться. Меньшие части легче, чем большие, уступают насилию,— говорит Платон. Поэтому тяжесть для него зависит от массы тел или количества частей, некоторых однородных и весомых частей, образующих тела. Именно этот момент прежде всего вызывает критические замечания Аристотеля.

Характерно, что Аристотель ничего не говорит о том, чем он обязан Платону в своей теории веса. Из приведенного нами отрывка видно, насколько — несмотря на серьезные расхождения — Аристотель сохраняет — в переосмысленном виде — некоторые существенные моменты платоновской теории, в частности идею «естественности» движений. У Платона, по существу, есть понятие о естественном

движении тел и элементов. Так, например, он говорит: «...если мы стоим на земле и отделяем части землеподобных тел, а то и самой земли, чтобы насильственно и наперекор природе ввести их в чуждую среду воздуха, то обе стихии проявят тяготение к тому, что им сродно, однако меньшие части все же легче, нежели большие, уступят насилию и дадут водворить себя в чужеродную среду» (Тимей, 63d). Однако, как показывает этот отрывок, «естественное» движение Платон понимает совсем иначе, как иначе у него понимается и то, что называется «естественным местом» Аристотель.

Это отличие Платона от Аристотеля (помимо уже отмеченного выше преобладания количественного и относительного начала у Платона) составляет принцип стремления подобного к подобному, который имеется у Платона. Этот традиционный принцип, идущий от ранних досократиков, сохраняется у Платона, но отбрасывается Аристотелем. После отмеченной выше чисто количественной трактовки легкого и тяжелого данный принцип является второй важной, характеристикой платоновской теории веса, или «тяготения». Рассмотрев разнообразие явлений тяжести, Платон говорит: «...но одно остается верным для всех случаев: стремление каждой вещи к своему роду есть то, что делает ее тяжелой» (там же, 63e).

Обобщая эти два принципа, платоновскую теорию можно резюмировать так: тела тяготеют к подобным им телам пропорционально количеству однородных частей, из которых все они состоят. Идея естественности движения и места у Аристотеля, однако, сильно отличается от ее платоновского прототипа. Если у Платона естественность целиком укладывается в рамки принципа стремления подобного к подобному, то Аристотелем она мыслится как чисто космологическое определение, как система естественных мест, присущих элементам. «Если,— говорит Аристотель, используя яркий пример для иллюстрации своей мысли,— поместили бы Землю туда, где сейчас находится Луна, то никакие части Земли не стали бы двигаться к ней, но она бы двигалась именно туда, где сейчас находится Земля» (О небе, IV, 3, 310b 2—5). Эффект тяготения, по Аристотелю,— не эффект стремления подобного к подобному; это не большая масса земли притягивает другие части земли, «оторванные» от нее. Тяготение состоит в стремлении Земли к своему естественному месту, находяще-

муся в центре мира и обуславливающему ее естественное движение.

Сопоставляя платоновский и аристотелевский подходы к проблеме веса, мы замечаем, что у Платона причудливо сочетаются наиболее далекие идеи: идея количественной природы свойства весомости, и поэтому его относительности, с «архаической» идеей о сродстве тел, об обусловленном их родовой общностью притяжений. У Аристотеля мы не находим ни первой идеи, ни второй. Поэтому теория веса Аристотеля, видимо, оказалась в принципе более живучей: она была более стабильной из-за ее внутренней «умеренности».

Рассмотрим теперь критику Аристотелем количественной трактовки веса более подробно. В этом моменте раскрывается специфика нематематического подхода Аристотеля. Аристотель считает, что именно количественный подход Платона является основным пунктом его разногласий с ним. Излагая Платона, Аристотель говорит, что у него «...численное превосходство частей в каждом случае есть превосходство в весе» (О небе, IV, 2, 308b 8). Численным превосходством, большим количеством одинаковых частей объясняется большая тяжесть свинца по отношению к дереву. В теории Платона, продолжает Аристотель, «все тела образованы из одинаковых частей и из одной материи, в противоположность обычным мнениям» (там же, 308b 11—12). Такой подход, правильно замечает Аристотель, имеет дело только с относительным значением понятий легкого и тяжелого и «ничего не говорит о легком и тяжелом в абсолютном смысле» (там же, 308b 13). Но, замечает Аристотель, ссылаясь на опыт, наблюдения и общепринятые взгляды, «огонь всегда легок, всегда движется вверх» (там же, 308b 14). Аристотель отталкивается от количественного подхода прежде всего потому, что в нем нет места для абсолютных значений легкого и тяжелого, количественная трактовка веса означает выбор относительного смысла этих понятий. Выдвижение идеи абсолютности качеств тяжести и легкости равносильно выдвиганию некачественного или качественного подхода: качественные различия в весе неуничтожимы никакими вариациями количеств тел, они абсолютны. Абсолютность и качественность выступают как «синонимы», одно необходимо предполагает другое, переходит в другое. Действительно, абсолютность космологической структуры, на базе которой основывается

определение Аристотелем легкого и тяжелого, оказывается предпосылкой его качественной теории веса.

Но какая же функция в этой качественной теории отводится Аристотелем количеству? Согласно Аристотелю, количество — это второстепенный вспомогательный фактор, способствующий лучшему выявлению абсолютной качественной природы тел. Опять, ссылаясь на наблюдение, Аристотель говорит, что платоники неправы, потому что в логике их теории, при варьировании количества вещества, можно заставить, например, огонь падать вниз, так как большая масса огня, по их взглядам, должна быть тяжелее, например, малой массы воды. Нет, возражает своим противникам Стагирит, «чем больше количество огня, тем выше его легкость, тем быстрее его движение вверх» (там же, 308b 19—21). «Очевидно, что огонь, каким бы ни было его количество, движется вверх, если при этом ничто извне ему не препятствует, а земля — вниз» (там же, 311a 19—21).

Количественный подход угрожает снять и даже перевернуть качественные абсолютные различия элементов. Это для Аристотеля совершенно неприемлемо, так как, по его мнению, не согласуется ни с опытом, ни с общепринятыми взглядами. Апелляции к наблюдению и здравому смыслу у него не прекращаются, пока он критикует количественный подход и формулирует свой собственный. Итак, количественный фактор — это лишь вспомогательный момент, лучше оттеняющий абсолютную — и неустранимую никакой игрой количеств — качественную природу тел. Аристотель варьирует эти возражения: «Всегда, — говорит он, возражая Платону, — большее количество воздуха движется вверх более быстро, и, вообще, всякая часть воздуха, поднимается, исходя из воды» (там же, 308b 27—29). Факты эмпирического наблюдения абсолютны, они не зависят ни от каких количеств гипотетических частиц, «треугольников» Платона или «атомов» Демокрита. Мы видим, как опорой качественному подходу служит феноменологическое описание процессов, основанное на абсолютизации качественных различий.

Форма (фигура) тел так же, как и количество вещества или масса тела, является второстепенным фактором по отношению к качественной природе тела. «Фигура тела, — говорит Аристотель, — не является причиной их движения вверх или вниз абсолютным образом, но лишь

причиной их более быстрого или более медленного движения» (там же, 6, 313а 14—15). Влияние фигуры тел несомненно для Аристотеля. Опыт с очевидностью свидетельствует об этом. Например, тяжелые тела дискообразной формы плавают на поверхности легких тел. Иголочка скорее тонет, чем диск, будучи сделанной из того же материала, так как она легко расслаивает свою среду и внедряется в нее при падении благодаря своей форме. Таким образом, фигура тела, т. е. геометрический фактор движения тел, подобно количественному — числовому — фактору, является лишь вспомогательным моментом по отношению к качественной определенности тела, определяющей — абсолютным образом — характер его естественного движения. Фигура, как и число (масса), может способствовать или препятствовать их движениям, но не может изменить сам характер этого движения.

Количественный подход в глазах Аристотеля — разнообразен. Подробнее всего он останавливается на платоновской теории, затем критически разбирает атомистическую, используя ту же систему опровергающей аргументации. В целом, Аристотель различает три основных разновидности количественного подхода к проблеме веса тел: платоновский, атомистический и, наконец, представления, использующие фактор величины частиц (там же, Iϕ, 2). Сюда можно еще добавить количественный подход в его чисто макрогеометрическом варианте, сводящий различия в весах к различиям в фигуре тел (там же, 6). Все эти варианты имеют одно общее основание, выделяемое в ходе их анализа Аристотелем: «Действительно — говорит он, резюмируя анализ различных вариантов количественного подхода, — если имеется только одна материя, то не будет ни абсолютно тяжелого, ни абсолютно легкого» (там же, 309b 34—35). Если тела составлены из частиц одной и той же материи, то они будут обладать только относительными свойствами, зависящими от числа этих частиц. По Аристотелю же, качества нельзя оторвать от материи, материя разнообразна по качеству и эти качественные различия абсолютны и несводимы к количественным различиям однородной — и в перспективе — бескачественной материи. «Нелепости, — говорит Аристотель, — возникают всегда, как только приписывают всем телам одну и ту же материю» (там же, 2, 309b 34—35).

Несомненно, что принцип единства и материальной однородности мира, вы-

двигаемый оппонентами Аристотеля, куда более радикально порывал с традиционными мифолого-религиозными представлениями о структуре мира (дуализм «земля — небо»), чем качественные космология и физика Аристотеля, по сути дела, дающие этим представлениям солидное теоретическое оправдание. Поэтому не случайно, что творцы науки нового времени (XVI—XVII вв.) так резко полемизировали именно с Аристотелем, находя в атомизме и, особенно, в платонизме историческую традицию, адекватную своим новаторским задачам. Вместо представлений об однородной и единой для всех тел материи, количество и форма частиц которой обуславливают все их свойства и качества, Аристотель вводит представление об абсолютно качественно различных телах: одни — абсолютно по природе легки, другие — тяжелы. Эти их различия несводимы, неуничтожимы: увеличение их количества способствует лишь более яркому проявлению их неизменной качественной природы.

Перечислим основные моменты аристотелевской критики количественного подхода. Во-первых, это принцип абсолютности качественных различий, во-вторых, это опора на свидетельства эмпирического наблюдения и здравого смысла и, наконец, опора на принцип противоположностей. Действительно, атомисты приписывают атомам тяжести, но легкость — противоположение тяжести — исчезает в таком случае из их системы. Аристотель сохраняет и «реабilitирует» традиционный принцип противоположностей, по которому был нанесен удар именно количественным подходом в широком смысле слова. И у Платона, и у атомистов одна противоположность (тяжелое) поглотила другую (легкое). Основная тенденция такого подхода — это сведение многообразия качеств к возможно минимальному числу исходных качеств, стремление вывести как можно больше качеств из исходных предпосылок, из вариаций количества, геометрических форм, структуры. Относительность легкого и тяжелого означает, что объективное значение имеет одна лишь тяжесть: легкость выводится как относительно меньшая тяжесть. У Аристотеля подход совсем иной: противоположные качества равноценны и в равной степени «объективны», неустранимы ни ссылкой на субъект восприятия, ни игрой количества или форм частиц. Говоря об атомистах и Платоне, оставивших из оппозиции «легкое — тяжелое» только тяжелое,

Аристотель ссылается на опыт, согласно которому со всей очевидностью имеется тело, движущееся вверх во всех стихиях, — огонь. «Следовательно, — заключает Аристотель, — это тело не может быть тяжелым, если только не существует тела, в глубину которого оно бы опускалось» (там же, 4, 311b 24—25).

То, что существует абсолютно легкое тело, есть такой же факт наблюдения, как и существование абсолютно тяжелого тела.

Феноменологическое описание свидетельств обыденного опыта, его наблюдений подкрепляет общую схему противоположностей, как, впрочем, видимо, существует и обратный эффект: традиционная схема влияет на направленность наблюдений и их описание в языке. Вообще качества, а в частности качества легкого и тяжелого, задаются Аристотелем как констатации феноменологического описания свидетельств обыденного опыта. Например, вода и воздух являются постольку легкими или содержат легкое, поскольку любая наобум взятая их часть поднимается выше поверхности земли (там же, 311a 25—26).

Аристотель критикует атомистов и Платона как трезво мыслящий эмпирик, оспаривающий выводы смелой теоретической спекуляции. Теоретическое мышление может обойтись без этой фатальной, в глазах Аристотеля, редукционистской тенденции, без сведения одной противоположности к другой. Конечно, это будет иное теоретическое мышление, находящееся в ином отношении к «эмпирии». Согласно Аристотелю, это будет действительно физический подход, который он противопоставляет чисто логическому подходу (О возникновении и уничтожении, I, 2, 316a). В контексте аристотелевского анализа свойств легкости и тяжести, в контексте космологического анализа проблемы движения, существенную роль играют понятия формы и материи: нижнее относится к верхнему, как материя к форме. Естественное место, по сути дела, понимается Аристотелем как собственная форма соответствующей стихии. Поэтому движение тела к его естественному месту есть его самореализация, осуществление его собственной формы, содержащейся в нем потенциально, что и обнаруживается в самом акте естественного движения. Таким образом, механизм движения стихий объясняется как на языке понятий «материя — форма», так и на языке понятий «потенция — акт» в полном соответствии

с общим пониманием движения как «энтелихии подвижного» (Физика, III, 2).

Элемент, благодаря естественному движению, достигает актуализации своей природы и своей формы: естественное место и есть его форма, как сосуд есть форма в нем находящегося (жидкого) тела. Только находясь в своем естественном месте, он является самим собой, и только это стремление к самоактуализации есть, по Аристотелю, теоретически ясная причина явлений тяжести. «То, что производит движение вверх и вниз, — говорит Аристотель, — есть то, что производит легкое и тяжелое, и то, что движется, является в потенции легким или тяжелым, и перемещение каждого тела к своему естественному месту есть движение к его собственной форме» (там же, 310a 30 — 310b 1).

Одной из важных задач, решаемых аристотелевской теорией веса, является дедукция четырех элементов. В основании этой дедукции лежат космологические предпосылки, которые, как мы уже это видели, составляют основу различия абсолютно тяжелого и абсолютно легкого. «...Тяжелое и легкое, — говорит Аристотель, — существуют как два тела, так как имеются два места, центр и периферия. Отсюда следует, что существует также промежуточная область между двумя этими местами, которая получает каждое из своих двух определений по отношению к другому крайнему месту: так как то, что является промежуточным между двумя крайностями, является сразу и периферией и центром» (там же, IV, 4, 312a 7—10). Аристотель здесь формулирует космологические предпосылки для последующего вывода на их основе необходимости существования двух промежуточных по свойствам легкости и тяжести тел. Характерной особенностью этого рассуждения является то, что оно содержит ярко выраженный принцип космологической детерминации тел и их свойств: специфическое тело, обладающее определенными свойствами, существует как функция системы естественных космологических мест. Таковы прежде всего огонь и земля, которые являются абсолютно легким (огонь) и абсолютно тяжелым (земля) именно в силу существования абсолютного центра и абсолютной периферии. «Место» мыслится Аристотелем вполне конкретно — это место как собственная форма тела или элемента.

Отличие аристотелевской дедукции элементов от соответствующей дедукции

Платона (Тимей, 31b — 32b) состоит в том, что она свободна от математических соображений. У Платона четырехэлементный состав космоса обосновывается соображениями числовой пропорции между стихиями, так как только в этом случае космическая связь стихий оказывается «прекраснейшей». У Аристотеля же мы находим не математические соотношения, а феноменологическую аналогию на базе качественных космологических допущений, основу которых составляет понятие естественного места. Как справедливо отмечает американский историк древней науки Ф. Сольмсен, сравнивая характер платоновской и аристотелевской дедукций элементов, вывод стихий у Платона носит скорее физико-математический, чем космологический характер³. К этому замечанию мы должны только добавить, что сам космологический подход Стагирита является качественным подходом. Действительно, свойства легкости и тяжести выступают как основные космологические качества. В этой теории тяжести, являющейся продолжением анализа проблемы движения, качества сильно объективированы. Даже у Платона мы видим, что дедукция элементов предполагает субъективный характер основных качеств космоса. Космос, по Платону, есть прекрасное тело, которое должно быть видимым и осязаемым (Тимей, 31b — c). Из необходимости быть видимым следует стихия огня, а из необходимости быть осязаемым — стихия земли.

У Аристотеля такой «субъективности» в качествах мы не находим. Во-первых, кинематический угол зрения (проблема движения) приводит к абстрагированию от большинства качеств, обычно связываемых с элементами и телами. «Исчезают» даже такие качества, как теплота огня и холод земли, как влажность и сухость, которые составляют основу теории элементов в книгах «О возникновении и уничтожении». Все эти качества не соответствуют космолого-кинематическому видению мира, которое здесь выражено. Аристотель упрощает качественное многообразие, оставляя в поле зрения только два качества-свойства — тяжелое и легкое. Космолого-кинематический подход придает этим качествам вполне объективное содержание: эти качества представляют собой универсальные характеристики конкретного космологического движения.

Отмеченные нами моменты говорят

о том, что качества у Аристотеля подвергнуты строгой селекции, объективированы и представлены в виде определенной системы, имеющей четкий космологический и физический смысл. Аристотель целиком подчиняет количественный фактор (в данном случае это масса элемента) качественной природе элемента. Качественные различия (легкое — тяжелое) выступают у него как абсолютные различия: они несводимы им к чему-либо другому, ни к количеству и фигуре, ни друг к другу.

Итак, теперь мы можем перечислить основные черты качественного подхода Аристотеля, ярко проявившегося в его теории веса: отбор и объективизация качеств, абсолютность и взаимная несводимость отобранных качественных различий, концепция противоположностей и, наконец, специфический универсальный понятийный аппарат (форма — материя, потенция — акт), сочетающийся с сознательной опорой на эмпирическое наблюдение и феноменологическое описание явлений.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Аристотель. СОЧИНЕНИЯ. В 4-х т. Т. 1—3. М.: Мысль, 1975—1981.

Карпов В. П. НАТУРФИЛОСОФИЯ АРИСТОТЕЛЯ И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ. М., 1911.

Зубов В. П. АРИСТОТЕЛЬ. М.: Изд-во АН СССР, 1963.

Лосев А. Ф. ИСТОРИЯ АНТИЧНОЙ ЭСТЕТИКИ: АРИСТОТЕЛЬ И ПОЗДНЯЯ КЛАССИКА. М.: Искусство, 1975.

Рожданский И. Д. РАЗВИТИЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ В ЭПОХУ АНТИЧНОСТИ. М.: Наука, 1979.

Гайденко П. П. ЭВОЛЮЦИЯ ПОНЯТИЯ НАУКИ. М.: Наука, 1980.

Визгин В. П. ГЕНЕЗИС И СТРУКТУРА КАЛИТАТИВИЗМА АРИСТОТЕЛЯ. М.: Наука, 1982.

³ Solmsen F. Aristotle's System of the Physical World. N. Y., 1960, p. 285—286.

Организация науки

Премия им. А. А. Белопольского АН СССР

В 1980 г. Президиум АН СССР учредил премию в области астрофизики в память одного из основоположников современной астрофизики и астроспектроскопии в нашей стране — академика Аристарха Аполлоновича Белопольского (1854—1934).

Белопольский был одним из первых, кто провел спектральные исследования новых звезд, измерения лучевых скоростей спектрально-двойных звезд, для многих из которых им были определены элементы орбиты. Пионерскими были также проведенные Белопольским спектральные исследования солнечных протуберанцев и выбросов.

По решению Президиума АН СССР первая премия им. А. А. Белопольского была присуждена в 1981 г. известному советскому астрофизику, члену-корреспонденту АН СССР, председателю Астрономического совета АН СССР Э. Р. Мустилю, внесшему большой вклад в дальнейшее развитие астроспектроскопии.

Э. Р. Мустель известен своими работами в области спектроскопических исследований новых и сверхновых звезд. Он впервые установил, что новые звезды имеют в своей оболочке большой избыток углерода, азота и кислорода. Этот факт исключительно важен для понимания механизма вспышек новых: теперь многие исследователи связывают вспышки новых с термоядерными взрывами водорода во внешних, обогащенных элементами группы CNO слоях белого карлика.

Значительный вклад внес Э. Р. Мустель и в отождествление спектров сверхновых I типа. Им были определены интенсивные линии поглощения углерода, азота и кислорода и показано, что сбрасываемая сверхновой I типа оболочка бедна водородом.

Астрофизика

Миллион кубических мегапарсек пустоты в Волопасе

Из наблюдений известно, что Вселенная неоднородна на расстояниях порядка размера галактик и скоплений галактик, но однородна на больших расстояниях. Происхождение наблюдаемых неоднородностей является предметом оживленных дискуссий.

Проведя в 70-е годы статистический анализ данных наблюдений по галактикам и их скоплениям, Дж. Пиблс (США) с сотрудниками получили оценку максимального масштаба неоднородности — (3—10) Мпс. Недавно Р. Киршнер, А. Озмлер, Р. Шехтер и С. Шехтман (Университет штата Мичиган, Йельский университет, обсерватории Кит Пик и Маунт Вильсон), проанализировав величины красных смещений, координат и светимостей 166 галактик 14-й звездной величины в длинноволновой области спектра, установили, что вплоть до расстоя-

ний 25 Мпс неоднородность в распределении галактик сохраняется.

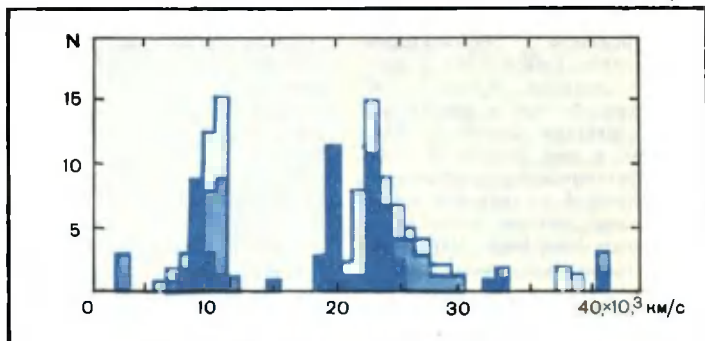
Для разрешения возникшего противоречия эти исследователи провели более глубокий анализ галактик, учитывая все галактики до 16,3 звездной величины. Для наблюдений были выбраны шесть площадок на небесной сфере, три из которых находились на южной, а три — на северной полусфере. Были определены красные смещения для всех галактик, расположенных в этих площадках, и построено распределение числа галактик в зависимости от скорости их удаления, соответствующей красному смещению.

Паразитальным свойством распределения, полученного для северной полусферы, является глубокий минимум в области скоростей удаления 12 000—18 000 км/с, в то время как для ожидаемого теоретического распределения здесь должен находиться максимум. Важно подчеркнуть, кроме того, что площадки наблюдений были отделены одна от другой на 35°, т. е. на 80 Мпс.

Таким образом, исследователи пришли к выводу, что на северном небе существует гигантская пустота объемом 10^5 Мпс³ (т. е. максимальный масштаб неоднородности в этой области равен 100 Мпс).

Ни одно из предыдущих аналогичных исследований не показывало наличия столь большой пустот во Вселенной. В дальнейшем предполагается про-

Распределение числа галактик N в зависимости от их скоростей удаления для трех площадок на северной небесной полусфере.



вести наблюдения в областях между исследованными площадками, чтобы охватить всю зону пустоты и убедиться в ее достоверности.

Если данная пустота реальна, то, по-видимому, она связана с ростом первичных возмущений плотности. Для ее возникновения требуется наличие крупномасштабной отрицательной первичной флуктуации плотности. Из проведенных наблюдений следует, что плотность в области пустоты примерно в 10 раз меньше средней. На стадии рекомбинации вещества при расширении Вселенной амплитуда такой флуктуации могла быть значительно меньше: $\delta\rho/\rho = -(0,01-0,1)$ в зависимости от средней плотности вещества во Вселенной. Тем не менее эта величина значительно превышает те амплитуды возмущений, которые требуются для объяснения большинства деталей наблюдаемой сейчас структуры Вселенной.

Для установления реальности обнаруженной пустоты необходимо провести более глубокий обзор выбранных площадок, чтобы выявить более слабые галактики, наличие которых могло бы сильно уменьшить контраст плотности. Такую работу предполагается осуществить в ближайшее время.¹

Astrophysical Journal Letters, 1981, v. 248, L. 57 (США).

Астрофизика

Структура радиогалактики Центавр А в рентгеновских лучах

С помощью американской обсерватории рентгеновской «Эйнштейн» («HEAO-2») в диапазоне энергий 0,5—4,5 кэВ получены данные о рентгеновской структуре одной из ближайших к нам (около 5 Мпс) южной гигантской радиогалактики Центавр А — главного члена небольшой группы галактик в созвездии Центавра. Наблюдения

в мягком рентгеновском диапазоне позволили выявить следующие детали ее структуры: компактный источник в ядре, выброс из ядра, дискообразный источник и диффузная излучение от центральной области основного тела галактики.

Яркий центральный нетепловой источник размером 8 пс совпадает по положению с плохо наблюдаемым ядром галактики, расположенным в центре мощной газовой-пылевой полосы. Его суммарная мощность в диапазоне 2—50 кэВ около 10^{43} эрг/с. Интенсивность излучения заметно изменяется за несколько часов, что говорит о размерах излучающей области порядка 10^{14} см.

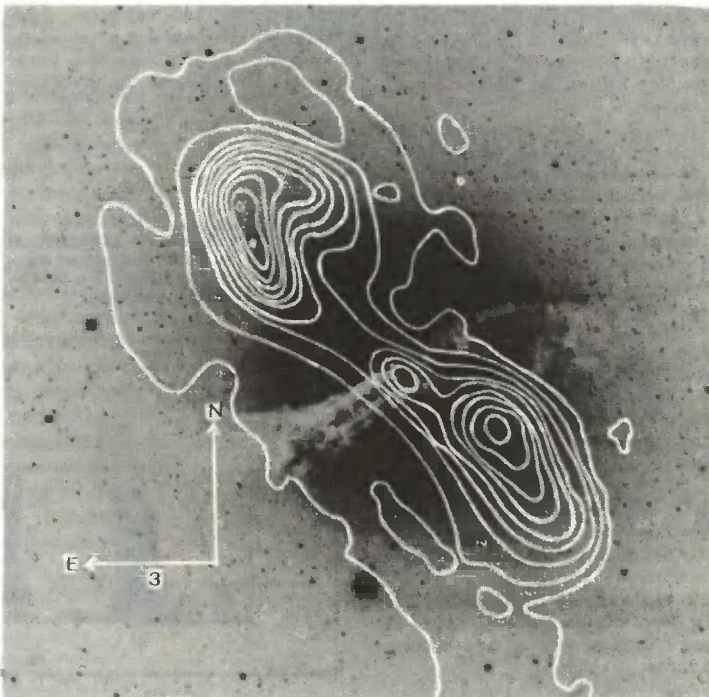
К северо-востоку от ядра почти на 5,5 кпс тянется узкий, порядка 0,5 кпс, выброс, состоящий из 7 отдельных сгустков неправильной формы. Общая рентгеновская светимость выброса 10^{40} эрг/с. В этом же на-

правлении вытянут и северо-восточный компонент двойного внутреннего радионисточника. Кроме того, так же ориентирована широкая полоса диффузного оптического излучения и отдельные газовые волокна, хорошо заметные по линии возбужденного водорода $H\alpha$.

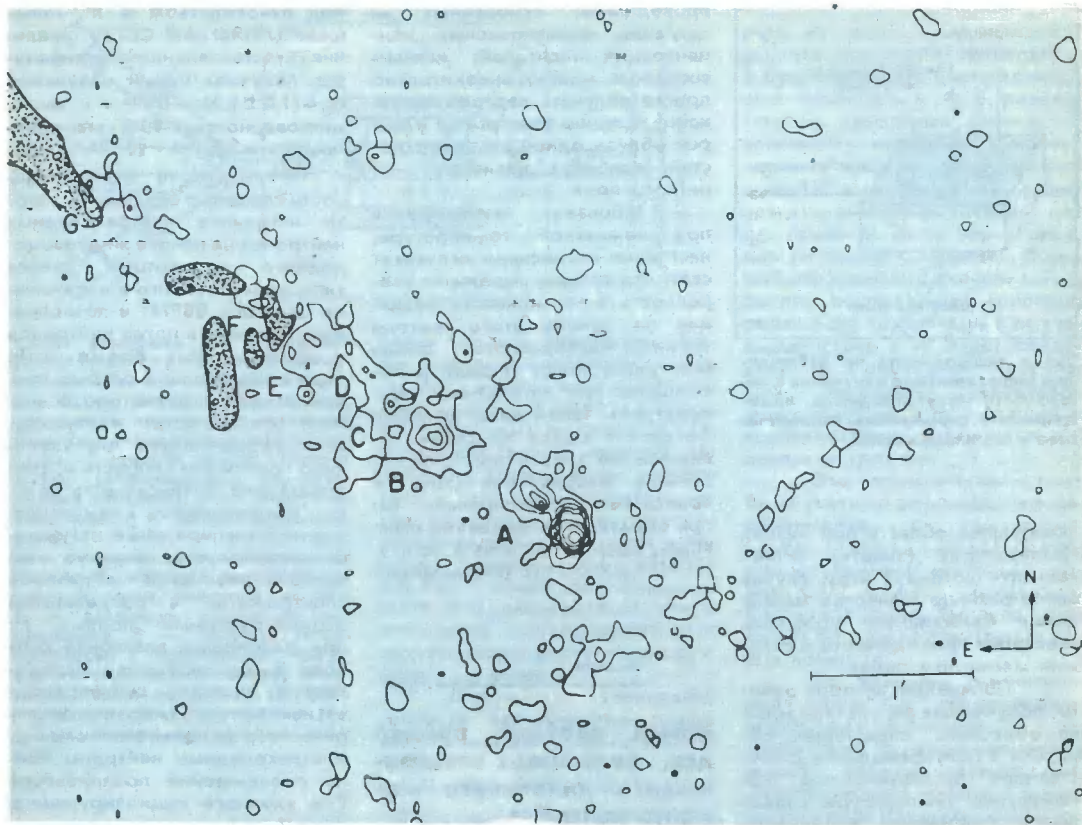
По мнению авторов, рентгеновское излучение в выбросе связано с наличием горячего газа с температурой 10^7 К и массой $10^6 M_{\odot}$; этот газ был нагрет, сжат и ускорен ударными волнами, возникающими при прохождении через межзвездную среду сгустка релятивистских частиц, магнитных полей и плазмы, излучающего в радиодиапазоне; сгусток был выброшен из ядра со скоростью в несколько тысяч километров в секунду.

Область слабого рентгеновского излучения протяженностью 5,5 кпс наблюдается по северной и южной кромкам газовой-пылевой полосы, пересекающей основное тело галактики. Ширина кромок не превосходит 0,5 кпс. Мощность излучения от более сильной южной кромки достигает 10^{40} эрг/с. Скорее всего, здесь

Радиогалактика Центавр А (негатив). В центре видна мощная газовой-пылевая полоса. Белыми линиями показаны контуры равных потоков (на частоте 1490 МГц) от внутреннего двойного радионисточника.



¹ Об исследовании границ Вселенной в 1912 г. см. в номере заметку на с. 36.



Рентгеновский выброс (сгустки A, B, C, D, E, F, G) и оптические волокна (темные области) в Центавре А. Две слабые клочковатые полосы, перпендикулярные выбросу, в правом нижнем углу — рентгеновское излучение от кромок газовой-пылевой диска.

наблюдается излучение горячего газа в диске галактики, но из центральной части газовой-пылевой диска из-за сильного поглощения это излучение не выходит.

В отличие от гигантских галактик в центральных областях богатых скоплений, например Девы А или Персея А, вокруг Центавра А не наблюдается протяженного, порядка сотен килопарсек, рентгеновского гало. Однако заметно диффузное излучение мощностью порядка $3 \cdot 10^{40}$ эрг/с из области

диаметром 13 кпс. По-видимому, это излучение разреженного ($3 \cdot 10^{-3}$ см $^{-3}$) горячего газа ($T \sim 10^7$ К, $M \sim 10^8 M_{\odot}$). По мнению авторов, этот газ собрался в центральной области галактики за 10 млрд лет в результате истечения вещества из звезд в процессе их эволюции. За этот период в результате действия такого механизма могло собраться и в 100 раз больше газа, но, по-видимому, основная его доля «выметается» из галактики в виде горячего галактического ветра. Этот ветер связан с нагревом межзвездного газа ударными волнами, возникающими при частых взрывах сверхновых в ранней галактике.

Природа взаимосвязи наблюдаемой рентгеновской структуры со сходными структурами в оптическом и радиодиапазонах пока неясна.

Astrophysical Journal, 1981, v. 251, p. 31—51 (США).

Физика

ИК-излучение с поверхности полупроводника в скрещенных электрическом и магнитном полях

Т. Моримото и М. Чиба (Институт атомной энергии при Университете г. Киото, Япония) впервые зарегистрировали инфракрасное излучение с поверхности полупроводника InSb, помещенного в скрещенные магнитное и электрическое поля. Излучение наблюдалось в интервале температур от 80 до 300 К; его длина волны приблизительно соответствовала ширине запрещенной зоны полупроводника. Таким образом, излучение имеет иную природу, чем циклотронное, испускаемое полупроводником в далекой ин-

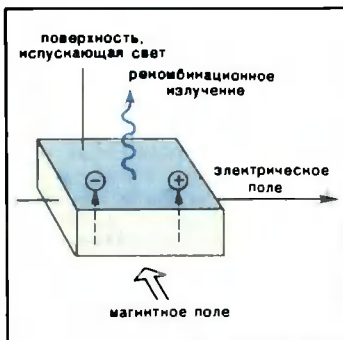


Схема эксперимента по наблюдению инфракрасного излучения с поверхности полупроводника, помещенного в скрещенные электрическое и магнитное поля.

фрактальной области при низких температурах (энергия испускаемого фотона в этом случае равна разнице в энергии между двумя ближайшими уровнями электрона проводимости в сильном магнитном поле).

По мнению авторов работы, полученные результаты можно объяснить следующим образом. В полупроводнике с собственной проводимостью при комнатной температуре содержится практически одинаковое количество электронов и дырок. Наложение электрического и магнитного полей приводит к коллективному дрейфу электронов и дырок к поверхности полупроводника. При больших магнитных полях такой дрейф может превзойти обычный дрейф электронов вдоль направления электрического поля. Таким образом, влияние электромагнитного поля сводится к существенному увеличению концентрации как электронов, так и дырок вблизи одной из поверхностей кристалла. На этой поверхности рекомбинация, эффективность которой пропорциональна концентрации электронов и дырок, идет со значительно большей скоростью, нежели в объеме образца, и поскольку рекомбинируют неравновесные электроны и дырки, то процесс сопровождается испусканием фотонов.

Полученные результаты будут полезны при исследовании отрицательной проводимости и других эффектов в полу-

проводниках, основанных на создании неравновесных концентраций носителей: данным способом можно сравнительно просто получать неравновесную концентрацию электронов и дырок вблизи одной из поверхностей, варьируя величину магнитного поля.

Образец, находящийся при комнатной температуре, настолько интенсивно испускает свет, что авторы выражают уверенность в возможности создания на основе этого метода магнитонинфракрасного диода (или «лазерного» диода), работающего при комнатных температурах. Такой диод испускал бы свет с одной из своих поверхностей только при определенном направлении тока в кристалле и «запирался» бы при обратном направлении тока. *Physics Letters*, 1981, v. 85 A, № 6, 7, p. 395—398 (Нидерланды).

Физика

Новый верхний предел для величины электрического дипольного момента нейтрона

Поиск электрического дипольного момента нейтрона ведется почти 30 лет. За это время верхний предел на его величину был понижен с $5 \cdot 10^{-20}$ е · см до $1,6 \cdot 10^{-24}$ е · см. Последнее значение было получено в Ленинградском институте ядерной физики им. Б. П. Константинова АН СССР (ЛИЯФ) в 1978 г. с применением ультрахолодных нейтронов¹ и по точности превосходило ограничительные, полученные в 1976 г. группой физиков США, Франции, ФРГ и Англии на лучшем из исследовательских реакторов мира — реакторе института Лауэ-Ланжевена в Гренобле.

В дальнейших экспериментах группа исследователей

под руководством В. М. Лобашева (ЛИЯФ АН СССР), увеличив чувствительность аппаратуры, получила новый результат: $d_n = (1,0 \pm 1,7) \cdot 10^{-25}$ е · см. С достоверностью 90% это означает, что $|d_n| < 4 \cdot 10^{-25}$ е · см.

Увеличение чувствительности связано с созданием нового источника ультрахолодных нейтронов на основе жидководородного конвертора нового типа, размещенного в отражателе реактора ВВРМ² и позволившего увеличить поток нейтронов в несколько раз. Кроме того, были использованы особые покрытия камеры магниторезонансного спектрометра и зеркальных нейтронотводов, что увеличило граничную скорость и, следовательно, интенсивность потока удерживаемых нейтронов.

В эксперименте измерялся сдвиг частоты ядерного магнитного резонанса нейтрона в спектрометре с разделяющими осциллирующими полями H_1 при наложении электрического поля E . Существенной особенностью является дифференциальный метод измерения электрического дипольного момента. Ультрахолодные нейтроны после прохождения поляризатора P и входного осциллирующего поля H_1 спектрометра поступали в две камеры, в которых электрические поля были противоположны по направлению; таким образом, сдвиг частоты резонанса, связанный с наличием у нейтрона электрического дипольного момента, имел разные знаки. После блуждания в камерах в течение 5—10 с ультрахолодные нейтроны по двойному нейтронотводу проходили через выходное осциллирующее поле H_1 и попадали в анализаторы, в которых регистрировались обе компоненты поляризации нейтронов. Использование четырех детекторов позволило компенсировать как случайные флуктуации интенсивности нейтронного потока, так и ложные сдвиги частоты резонанса, вызванные влиянием переключения высоковольтного напряжения, которые были общими для обеих камер спектрометра. Последнее обстоятельство сыграло

¹ В предыдущем сообщении (*Природа*, 1980, № 1, с. 96) был ошибочно указан результат $(4 \pm 7,5) \cdot 10^{-24}$ е · см, вместо $(4 \pm 7,5) \cdot 10^{-25}$ е · см.

² Altarev I. et al. — *Phys. Lett.*, 1980, v. 80A, p. 413.

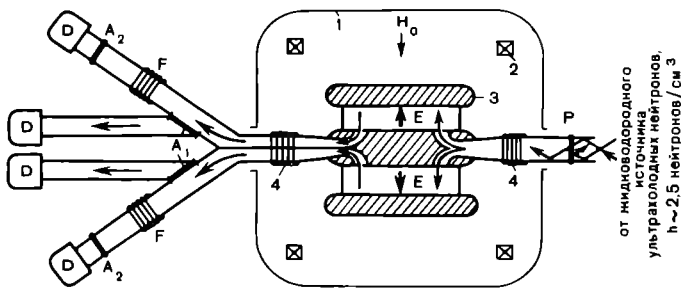


Схема установки для измерения электрического дипольного момента нейтрона: 1 — магнитные экраны; 2 — катушки Гельмгольца, создающие постоянное магнитное поле H_0 ; 3 — высоковольтные электроды — крышки камер спектрометра, удерживающие ультразвуко- лодные нейтроны; E — электриче- ское поле; P — поляризатор нейт- ронов; A_1 и A_2 — анализаторы; 4 — катушки с осциллирующими полями H_1 , которые осуществляют поворот спина нейтрона на 90° ; D — детекторы ультралоудных нейтронов, F — катушки (спин- флипперы) с переменным элект- ромгнитным полем, переворачива- ющим спин нейтрона на 180° , что обеспечивает регистрацию вто- рой компоненты поляризации нейт- роне.

полей (модель Вайнберга). Пер- вая модель предсказывает очень низкие значения электрического дипольного момента нейтрона ($<10^{-28}$ е · см), тогда как соглас- но второй группе моделей, эта величина должна быть порядка 10^{-24} е · см. Таким образом, новое ограничение на электри- ческий дипольный момент нейт- рона, полученное в ЛИЯФ'е АН СССР, ставит под сомнение (хотя и не окончательно, ввиду некоторой неопределенности теоретических расчетов) вторую группу моделей.

Дальнейшее увеличение точности эксперимента позво- лит, по-видимому, сделать окон- чательный выбор между вари- антами калибровочных теорий.

Physics Letters, 1981, v. 102 B, № 1, p. 13 (Нидерланды).

большую роль в достижении ре- кордной чувствительности.

Электрический диполь- ный момент у элементарных частиц может возникнуть только в случае нарушения CP- и P-четности в фундаментальных взаимодействиях. Впервые на- рушение CP-четности было об- наружено в 1964 г. в распаде K_L^0 -мезона. По существующим теоретическим представлениям, нарушение CP-четности связано с механизмом возникновения массы у элементарных частиц в единых калибровочных тео- риях со спонтанно нарушенной симметрией; поэтому обнару- жение других случаев CP-нару- жения, помимо распада K_L^0 -мезона, может прояснить пробле- мы, связанные с фундаментом калибровочных теорий.

Так, согласно современ- ным моделям калибровочных теорий, нарушение CP-четности происходит либо за счет механизма возникновения масс кварков и лептонов (модель Кобаяши — Маскава), либо за счет взаимодействия хиггсовских

рвать их физические парамет- ры, что квантовые переходы в Б будут вызывать соответствую- щие переходы в А. В резуль- тате на некоторых уровнях А возникает инверсия заселен- ности. Переходы в Б можно вызвать, если, например, вклю- чая или выключая внешние по- ля, привести ее в неравнове- сное состояние с энергией, боль- шей равновесного значения. Тогда при последующей тепловой релаксации подсистемы Б ее вза- имодействие с А будет созда- вать в последней кванто- вые переходы, увеличива- ющие энергию и приводящие к возникновению инверсии засе- ленности уровней.

Эта теоретическая схема была успешно реализована в эк- сперименте с кристаллом $La_2Mg_3 \cdot (NO_3)_{12} \cdot 24H_2O$, содер- жащим примесь магнитных ио- нов Co^{2+} и Ce^{3+} ; концентра- ция ионов церия была во мно- го раз больше концентрации ио- нов кобальта.

Во внешнем магнитном поле спины Co^{2+} образовывали подсистему А, спины Ce^{3+} — подсистему Б, кристаллическая решетка являлась термостатом. Энергетические уровни А в маг- нитном поле представляли собой два зеемановских подуровня, каждый из которых имел сверх- тонкую структуру, состоящую из восьми компонент. В подсистеме Б было лишь два зеемановских подуровня, расстояние между которыми при определенной ве- личине поля совпадало с рас- стоянием между соседними уровнями А.

Кратковременным нало- жением дополнительного маг- нитного поля подсистема Б при- водилась в неравновесное состо- яние. По мере того как в ней происходила релаксация, между уровнями А возникла инверсия заселенности со временем жи- зни 30 мс, сопровождавшаяся вынужденным излучением на длине волны 3 см.

Наблюдавшиеся эффекты открывают новые возможности для создания квантовых генера- торов, использующих тепловой механизм создания инверсии за- селенности.

Тепловой механизм соз- дания инверсии заселен- ности

В термодинамически рав- носесной системе не может возникнуть вынужденное (инду- цированное) излучение, так как в ней отсутствует инверсия за- селенности уровней. Однако, как показали М. П. Вайсфельд, Ф. С. Исмамутинов и А. Х. Ха- санов (Казанский государствен- ный университет им. В. И. Улья- нова—Ленина), ситуация суще- ственно меняется, когда в рав- носесии с термостатом находят- ся две взаимодействующие под- системы А и Б.

Если их взаимодействие таково, что уменьшение энергии Б приводит к увеличению энер- гии А, то можно так подо- б-

Письма в ЖЭТФ, 1981, т. 34, № 5, с. 252—255.

Физика

Физика

512-канальный рентгеновский дифрактометр с мозаичным детектором

Под руководством Б. К. Вайнштейна в Институте кристаллографии им. А. В. Шубникова АН СССР совместно с Ленинградским научно-производственным объединением «Буревестник» разработан 512-канальный дифрактометр «ДАРК-2,0». В нем в качестве детекторов используются 512 миниатюрных пропорциональных счетчиков, собранных в четыре дуговые секции. «ДАРК-2,0» обладает высоким быстродействием порядка 10^7 имп/с и позволяет работать как с обычными рентгеновскими трубками, так и с источниками рентгеновского излучения повышенной мощности. Дифрактометр управляется ЭВМ «М-6000».

Изучать структуру белков путем рентгеноструктурного анализа очень сложно, так как их кристаллы примерно на 50% состоят из кристаллизационной воды и молекул, содержащих главным образом атомы легких элементов, которые имеют малую электронную плотность и слабо взаимодействуют с рентгеновским излучением. Поэтому дифракционные отражения в случае белков не только много слабее отражений от обычных кристаллов, но, кроме того, накладываются на более высокий фон и плохо разрешимы из-за нарушения упорядоченности в этих молекулах. При исследовании больших и сложных белковых молекул число дифракционных отражений в среднем составляет десятки, а иногда и сотни тысяч. Поэтому время измерения таких молекул даже в автоматических одноканальных дифрактометрах исчисляется тысячами часов по сравнению с десятками часов в обычных случаях. Особенно сильно возрастает объем эксперимента, а следовательно, и время экспозиции образцов, если нужно увеличить разрешение дифракционной картины или выяснить механизм функционирования изучаемых объектов. Однако уве-

личивать экспозицию нежелательно, так как белки разрушаются под воздействием радиации или происходит их дегидратация, при которой теряется кристалличность.

Время рентгеновского эксперимента с белковыми кристаллами удалось значительно сократить, использовав в «ДАРК-2,0» принцип параллельной регистрации дифракционных отражений серий детекторов.

Экспериментальная проверка 512-канального дифрактометра была выполнена на монокристаллах белка леггемоглобина. Для получения аналогичного массива данных в одноканальном дифрактометре «ДАР-УМБ» потребовалось 1600 ч и 5 образцов монокристаллов, тогда как в дифрактометре «ДАРК-2,0» такой массив был получен за 48 ч. Столь малая экспозиция позволила обойтись одним образцом. При изучении четырех кристаллических комплексов леггемоглобина (с никотиновой кислотой, CN^- , F^- и фенилгидроксиламинол) были не только подтверждены ранее полученные результаты, но и выявлены дополнительные детали структуры этих белков.

Доклады АН СССР, 1981, т. 258, № 4, с. 875—879.

Химия

Периодическая полимеризация

Имеются основания предполагать, что многие химические процессы протекают в периодическом режиме как во времени, так и в пространстве. Процесс периодической полимеризации исследовал Г. П. Гладышев (Институт химической физики АН СССР).

Периодическая полимеризация мономеров может происходить в двухфазных системах при встречной диффузии реагирующих компонентов. При этом, если образующийся полимер не растворяется в исходном мономере, может образоваться пространственно-периодический осадок полимера.

Исследовалась периодическая полимеризация акрилонитрила. Исходные реагенты первоначально были пространственно разделены, и их конвективное перемешивание исключалось. Раствор геля желатина или акриламида, в который до его загустевания вводились мономер (акрилонитрил) и инициатор (персульфат аммония), помещался в капилляр. После загустевания геля оставшаяся часть капилляра заполнялась раствором второго инициатора (сульфата закисного железа с аскорбиновой кислотой). Система выдерживалась при 20°C в течение нескольких дней при свободном доступе воздуха к открытому концу капилляра.

В результате встречной диффузии инициатора и мономера происходила полимеризация с образованием полимера — полиакрилонитрила. Через несколько часов реакция образования полимера прекращалась и продвижение фронта полимеризации приостанавливалось. Спустя некоторое время появлялась следующая зона осадка полимера, и так повторялось много раз. Протяженность осадка и свободных зон составляла 0,2—10 мм.

Процесс периодической полимеризации имеет сложный механизм, и пока не создано общей теории таких процессов. По мнению автора, эту задачу можно решить, используя теорию цепной полимеризации и представления о критических параметрах полимеризации.

Доклады АН СССР, 1981, т. 260, № 6, с. 1394—1397.

Молекулярная биология

Синтезирован ген интерферона

М. Эдж с сотрудниками (Лейчестерский университет, Англия) сообщил об успешном синтезе гена лейкоцитарного интерферона человека. Синтезирован фрагмент двухцепочечной ДНК лейкоцитов, который ответствен за этот синтез. Ген представляет собой отрезок из

514 пар оснований, который кодирует синтез 166 аминокислот, входящих в состав интерферона, и содержит сигналы начала и окончания синтеза. Проверка показала, что синтезированный ген идентичен гену, содержащемуся в живых клетках.

По-видимому, теперь можно надеяться на успешный синтез других видов интерферона и, следовательно, на получение их в очищенном виде в достаточно больших количествах. Не исключено, что, модифицируя последовательность и состав нуклеотидов, входящих в состав гена интерферона, можно будет получать искусственный интерферон с новыми свойствами, в том числе препараты, обладающие значительно более выраженным фармакологическим действием, чем известные виды природного интерферона.

Как известно, широкому применению интерферона в клинике мешают ограниченные возможности его получения, поскольку этот белок добывается из фибробластов и лейкоцитов человека¹. В последние годы в лабораториях ряда стран из ДНК клеток человека удалось выделить ген интерферона, ввести его в состав генома бактерий и заставить их вырабатывать интерферон. Однако до сих пор выделить ген в чистом виде не удалось, так как бактерии синтезировали помимо интерферона еще и ряд других белков — примесей.

Nature, 1981, v. 292, p. 756 (Великобритания).

Биохимия

Еще один неустойчивый гемоглобин человека

Молекула гемоглобина здорового человека построена из четырех полипептидных цепей: двух α -цепей (в каждой по 141 аминокислотному остатку) и двух более длинных β -цепей

(146 аминокислотных остатков). Каждая полипептидная цепь гемоглобина соединена с одной группой, содержащей атом железа, — с гемом. Эти четыре цепи вместе с гемогруппами образуют единую плотную глобулярную структуру, обладающую высокой стабильностью и способностью связывать молекулы кислорода с атомами железа четырех гемогрупп. Молекулярная структура гемоглобина настолько совершенна и так точно соответствует его функции переносчика кислорода, что малейшие изменения в его структурной организации почти всегда ухудшают кислородный обмен в организме.

При исследовании крови больных анемией (малокровием) часто обнаруживают аномальные неустойчивые гемоглобины. Во всех исследованных типах таких гемоглобинов (а их в настоящее время только у больных с гемолитической анемией известно около 70) всегда имеет место замена или пропуск одной или нескольких аминокислот в тех участках α - или β -пептидной цепи, которые наиболее важны для сохранения стабильности всей молекулы. Такие дефекты могут привести к серьезным заболеваниям и даже смерти. Поэтому изучение аномальных неустойчивых гемоглобинов позволяет глубже понять роль структурной организации этого «молекулярного легкого» при выполнении его важнейшей биологической функции в организме.

Недавно в университетской клинике г. Тоеока (Япония) при исследовании крови молодого японца, длительное время страдавшего гемолитической анемией, наряду с нормальными эритроцитами обнаружены более короткие эритроциты неправильной формы. Из них был выделен новый аномальный неустойчивый гемоглобин, названный гемоглобином Тоеока. Затем группа японских специалистов, работающих в ряде университетских клиник Японии, исследовала физико-химические свойства гемоглобина Тоеока и установила аминокислотную последовательность в его аномальной β -цепи. Этот гемоглобин менее устой-

чив к нагреву; даже в обычных условиях он легко диссоциирует на субъединицы с потерей гемогрупп, что приводит к его быстрому разрушению в эритроцитах, которые в результате этого изменяют свою обычную форму. Хотя гемоглобин Тоеока связывается с большим количеством кислорода (почти в 1,5 раза выше нормы), однако при этом нарушена кооперативность действия всех его гемогрупп.

Исследование аминокислотной последовательности β -цепи гемоглобина Тоеока показало, что все его аномальные свойства обусловлены заменой аминокислоты аланина на аминокислоту пролин в 142-м положении полипептидной цепи. Такая замена и явилась причиной нарушения наиболее важного H -спирального участка β -цепи, обеспечивающего нормальное связывание кислорода в молекуле гемоглобина.

Blood, 1981, v. 57, № 4, p. 697—704 (Великобритания — США).

Медицина

Искусственные эритроциты

Г. В. Самсонов, Н. П. Кузнецова, Л. Р. Гудкин и Р. Н. Мишаева (Институт высокомолекулярных соединений АН СССР, Ленинград) создали и испытали искусственные эритроциты, моделирующие газообменную функцию естественных эритроцитов крови человека. Эти искусственные эритроциты представляют собой газопроницаемые гелеобразные частицы размером около 1 мкм, изготовленные из карбоксильного сетчатого полимера, внутри которых заключен высококонцентрированный раствор гемоглобина человека. Масса этого раствора в искусственных эритроцитах в 10—15 раз превышает массу защитных оболочек.

Сравнение газотранспортных свойств суспензий искусственных и естественных эритроцитов в условиях, близких к физиологическим, показало достаточно хорошее совпадение ха-

¹ Подробнее об этом см.: Кобринский Г. Д. Интерферон. — Природа, 1981, № 1, с. 20.

рактера кривых насыщения гемоглобина кислородом для обоих типов эритроцитов. Искусственная полимерная оболочка не нарушала структуры гемоглобина и не влияла на его способность многократно обратимо присоединять кислород.

Поскольку эритроциты, как и другие клетки крови человека, обладают индивидуальной специфичностью, то введение их в чужой организм может вызвать нежелательные антигенные реакции. Важной характеристикой, определяющей биологическую совместимость эритроцитов и других форменных элементов крови, являются электрохимические свойства их поверхности. Было проведено сравнение электрохимических характеристик суспензий искусственных и естественных эритроцитов методом микроэлектрофореза; оно показало, что электрофоретическая подвижность обоих типов эритроцитов и плотность их поверхностного заряда в различных буферных средах близки.

Однако необходимы еще длительные исследования, чтобы с помощью суспензий искусственных эритроцитов с полимерной сетчатой оболочкой добиться полной компенсации дыхательной функции крови в течение длительного срока без вреда для подопытного организма.

Доклады АН СССР, 1981, т. 260, № 6, с. 1486—1489.

Микробиология

Антимикробная активность у кладофоры

Н. С. Демина и Д. Г. Мальдов (Институт микробиологии АН СССР) обнаружили, что зеленая водоросль кладофора (*Cladofora* sp.) выделяет вещества, которые подавляют рост бактерий *Bacillus mycoides* и *Staphylococcus aureus*.

Обладающие антимикробной активностью вещества экстрагировались из кладофоры как водой, так и органическими растворителями — метанолом,

этанолом, бутанолом, ацетоном, хлороформом. Наибольшей антимикробной активностью обладают метанольные экстракты. Так, рост *Bacillus mycoides* и *Staphylococcus aureus* подавлялся полностью при концентрации экстрагированных веществ соответственно выше 60 и 50 мкг/мл среды. На рост *Escherichia coli*, а также грибов *Manila* sp., *Aspergillus niger* экстракты из клеток кладофоры не действовали.

Кладофора чрезвычайно широко распространена в пресноводных водоемах и представляет собой легкодоступный природный материал для получения антимикробных препаратов против стафилококков.

Известия АН СССР, 1981, № 3, с. 468—469.

Физиология

Регуляция вертикальной позы человека

Поскольку тело человека состоит из большого числа подвижных звеньев, центр масс расположен высоко над опорой, а площадь опорного контура очень мала, — поддержание естественной для человека вертикальной позы представляет весьма серьезную задачу, в выполнение которой вовлекается целая цепь рефлексов. В совместной работе В. С. Гурфинкеля с сотрудниками (Институт проблем передачи информации АН СССР) и С. Мори (Медицинская школа Асахикивы, Япония) были проведены эксперименты¹, в которых использовались ритмические переднезадние наклоны с разными частотами опорной платформы, на которой стоял человек; при этом регистрировались электрическая активность мышц голени, изменения угла в голеностопном суставе, а также движения различных точек тела. Установлено, что изменения угла в голеностопном суставе совпадают по фазе с движения-

ми платформы. Между движениями платформы и колебаниями тела и головы имеется сдвиг фаз, который зависит от частоты возмущающих воздействий. Варьируя этот фазовый сдвиг, исследователи обнаружили, что ритмические всплески электрической активности мышц голени четко совпадают по фазе с отклонениями корпуса и головы и не связаны с углом в голеностопном суставе. При фиксации голеностопного сустава ритмическая активность мышц остается прежней, хотя угол в суставе не меняется. При фиксации головы в переднезаднем направлении активность мышц, стабилизирующих положение тела, продолжает коррелировать с перемещениями корпуса. В отличие от этого при фиксации корпуса активность мышц, как показали те же авторы ранее², становится нерегулярной. В тех случаях, когда (при закрывании глаз) частота колебаний тела не совпадает с частотой возмущающего воздействия, активность мышц голени модулируется в соответствии с частотой колебаний тела, а не с частотой возмущения. Все эти результаты противоречат прежним представлениям.

Известно, что растяжение мышцы вызывает ее сокращение — так называемый рефлекс на растяжение, осуществляемый на уровне спинного мозга. Согласно классической точке зрения, стабилизация положения человеческого тела достигается системой таких местных рефлексов на растяжение, а их согласование обеспечивается центральной нервной системой на основании вестибулярной и зрительной информации. Это значит, что основную роль играют, во-первых, информация о положении головы, а во-вторых, информация о длине отдельных мышц. Особое значение придается рефлексам на растяжение мышц голени, возникающим при изменении угла в голеностопном суставе и стабилизирующим этот угол.

Согласно же данным, полученным В. С. Гурфинкелем с сотрудниками, активность

¹ Физиол. чел., 1981, т. 7, № 3, с. 400.

² Agressologie, 1976, v. 17, p. 71.

мышц голени не зависит ни от угла в голеностопном суставе, ни от положения головы. Это означает, что стабилизация вертикального положения не связана ни с местным растяжением мышц, ни с воздействием на вестибулярные и зрительные рецепторы. Основным объектом регулирования при поддержании вертикальной позы является корпус. Исследователи предполагают, что информацию о положении корпуса сообщают рецепторы поясничного отдела позвоночника возможно, рецепторы стоп ног. Это предположение, однако, еще не проверено экспериментально.

Б. И. Кочубей
Москва

Физиология

«Быстрый сон» и психическая активность у детей

Быстрый, или парадоксальный, сон — это особое состояние повышенной активности мозга, периодически возникающее во время сна у птиц и млекопитающих, включая человека. Особенно выражено это состояние у новорожденных детей; у них оно занимает большую часть всего времени сна.

Быстрый сон у детей первого года жизни изучали американские физиологи П. Беккер и Е. Томан (Висконсинский университет). Они описали особо мощные вспышки быстрых движений глаз во время сна, назвав их «бурями». Количество таких «бурь» у новорожденных резко падает между третьим и шестым месяцами жизни. По исполнению одного года наблюдавшимся детям предъявляли специальный тест для оценки их психического развития. Обнаружилось, что дети, у которых в шесть месяцев «бури» еще отмечались, отстают в психическом развитии.

Таким образом, «бури» быстрых движений глаз во сне могут оказаться показателем будущих аномалий в психике

ребенка, так как затухание этих «бурь» с возрастом отражает процесс созревания центральной нервной системы ребенка.

Science, 1981, v. 212, № 4501, p. 1415—1416 (США).

Зоология

«Живое ископаемое» из подводной пещеры

Ракообразные — настолько обширная и разноликая группа животных, что в современной систематике их рассматривают как надкласс с 8 классами и как минимум 50 отрядами¹. Недавно эта разношерстная компания пополнилась еще одним членом. Американский зоолог Дж. Ягер, работающий на Багамских о-вах, открыл в подводной пещере Лукайя необычного рачка.

Пещера Лукайя находится на о-ве Большая Багама, приблизительно в километре от океана, и соединяется с ним системой протоков. Верхний слой воды пещерного водоема — до глубины 14 м — совершенно пресный и имеет постоянную температуру 22°С. Глубже располагается слой соленой морской воды, температура которого колеблется от 23 до 25°. Ягер работал там в модифицированном для плавания в узких протоках акваланге. В пещере в условиях полной темноты, на глубине 19 м, т. е. в морской воде, были обнаружены бокоплав, мизиды, рачки из специфического подземного отряда термосбенновых, слепая пещерная рыба *Lucifuga spelaeotes* и новый, неизвестный науке рачок, которому Ягер дал название *Speleonectes lucayensis* («лукайский пещерный пловец»)². Он оказался довольно

редким: за 14 месяцев исследования его удалось видеть немногим более десятка раз.

Спелеонектес — небольшое полупрозрачное червеобразное животное длиной 2—2,5 см, шириной около 2 мм. Рачок совершенно слеп. Его тело состоит из головного щита, 31—32 одинаковых сегментов туловища и заднего сегмента с парой хвостовых придатков. Головной щит состоит из нескольких слившихся сегментов и несет 2 пары усиков — антенн, задняя из которых двуветвистая. Перед антеннами — пара странных коротких «рожков» с одним нечленистым отростком. Ни у кого из ракообразных нет ничего похожего. Если «рожки» считать недоразвитыми усиками, значит, у спелеонектеса 3 пары антенн, тогда как у всех без исключения ракообразных их только 2. Все сегменты туловища несут совершенно одинаковые двуветвистые плавательные ножки, но они прикреплены не к нижней стороне сегмента, как обычно у ракообразных, а к боковой — как у многощетинковых червей. Рачки быстро плавают спиной вниз, причем тридцать с лишним пар плавательных ножек бьют не все одновременно, а со сдвигом фазы, так что по телу плывущего рачка пробегают волны.

Сочетание черт строения спелеонектеса настолько своеобразно, что его нельзя причислить ни к одному известному отряду и классу ракообразных. Одни признаки сближают его с классами жаброногих или цефалокарид, другие — с веслоногими, третьи — даже с высшими ракообразными, но в целом он не похож ни на кого из них. Некоторое сходство имеется с двумя загадочными палеозойскими ракообразными: девонским *Lepidocaris rhytiensis* — единственным представителем вымершего отряда *Lipostacra*, которого включают в класс жаброногих, и карбоновым *Tespusocaris goldichi*, обычно причисляемым к классу цефалокарид. Ягеру пришлось создать для открытого им животного новый класс — *Remipedia* («ребленогие»).

По видимому, это — «живое ископаемое», отдаленный

¹McLaughlin P. A. Comparative morphology of recent Crustacea. San Francisco, 1980.

²Yager J. — J. Crustacean Biol., 1981, v. 1, № 3, p. 328.

потомок ракообразных, населявших моря нашей планеты 300—400 млн лет назад.

К. Н. Несис,
кандидат биологических наук

Москва



Экология

Аккумуляция свинца городскими растениями

Т. А. Парибок, Г. Д. Лейна, Н. А. Сазыкина, В. Н. Топорский, Т. И. Николаева и Т. Б. Дьякова (Ботанический институт АН СССР и Всесоюзный геологический институт Министерства геологии СССР, Ленинград) изучали концентрацию свинца у 16 видов растений Ленинграда и его окрестностей¹. В парках жилых районов Ленинграда концентрация свинца в среднем в 2 раза выше, чем в загородном парке в 43 км от города, а в парке промышленного района города — выше в 4—8 раз. Наибольшая концентрация свинца отмечена в уличных посадках: здесь она превышает таковую в загородном парке в 8—12 раз (в зависимости от вида растений). Среди кустарников больше всего свинца накапливает древоидная карагана («желтая акация»), а из листопадных деревьев — обыкновенная липа. Высокая концентрация свинца обнаружена и у двух видов берез; вероятно, что березы обладают повышенной способностью к аккумуляции свинца как из воздуха, так и из почвы.

Содержание свинца в растениях Ленинграда (примерно такой же уровень, что и в Киеве) оказалось значительно меньше, чем в уличных посадках деревьев и в парках крупных западноевропейских и американских городов. Полученные исследователями данные существенны для оценки фильтрующей роли растений при очистке загрязненного воздуха и для использования отдельных видов растений в ка-

честве индикаторов состояния природной среды.

Одним из следствий, вытекающих из работы Т. А. Парибок с соавторами, должно быть пристальное внимание к судьбе листового опада в условиях города. Если листья с загрязненных магистралей не вывозить — год от года поступление свинца в почву будет возрастать, если же листовая опад вывозить за город — там могут возникнуть зоны вторичной концентрации свинца, который может попасть в продукты питания.

У. Н. Воронцов,
доктор биологических наук

Москва



Гидробиология

Зоопланктон в зоне влияния ТЭС

В. А. Костылев и М. А. Есипова (Всесоюзный научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, Рыбное) изучали состояние зоопланктона в подводящем (холодном) и водосбросном (теплом) каналах Курской теплоэлектростанции. Данные 108 проб, регулярно отбирившихся раз в декаду с апреля по ноябрь в 1974, 1975 и 1977 гг., показали, что зоопланктон водосбросного и подводящего каналов существенно различается по видовому составу, массе и размеру видов.

В пробах из водосбросного канала, воды которого поступают в пруды Курского рыбозавода, обнаружено много мертвых и поврежденных организмов: они сильно травмируются при прохождении через энергетические установки ТЭС. При переходе из подводящего канала в водосбросный водным организмам приходится также преодолевать перепад температуры от 8,4 до 10,6°. Максимальная гибель зоопланктона отмечена в период наибольшего перепада температуры. Благоприятная для развития зоопланктона температура (22—23°C) наблюдается лишь в конце апреля — начале мая; в остальное время она

превышает 26° и резко снижает численность водных организмов. В подводящем канале показатели биомассы обычно на порядок выше, чем в водосбросном (за период исследований биомасса в водосбросном канале не превышала 1,09 г/м³, а в подводящем составляла 2,2 г/м³).

Существенные различия наблюдаются в видовом составе. Весной в подводящем канале преобладают коловратки, в водосбросном — циклопы. Летом (июнь — июль) биомасса зоопланктона в водосбросном канале растет в основном за счет дафний, а в подводящем по-прежнему доминируют коловратки. С середины августа в подводящем канале преобладают дафнии и коловратки, в водосбросном — дафнии и циклопы.

Наряду с количественными и качественными различиями отмечается изменение размеров организмов, т. е. замена крупных форм мелкими.

Таким образом, наиболее важными факторами, приводящими к гибели беспозвоночных в зоне влияния подогретых вод ТЭС, являются резкий перепад температуры и травмирование организмов; кроме того, оказывают воздействие различные токсианты, по тем или иным причинам попадающие в воду.

Гидробиологический журнал. Киев: Наукова думка, 1981, т. XVII, № 5, с. 31—33.

Геология

Карта нефтяных ресурсов Зарубежной Азии и Океании

Советскими геологами составлена оригинальная карта¹, обобщающая разнородные сведения и представляющая о нефтегазоносности обширной терри-

¹ Карта ресурсов нефти и газа и основных объектов нефтегазовой промышленности развивающихся стран региона ЭСКАТО. Масштаб 1:5 000 000. Ред. В. И. Высокотский, Н. А. Калинин, Ю. Я. Кузнецов, М. С. Молдавский. М.: ГУГК, 1981.

¹ Ботан. ж., 1981, т. 66, № 11, с. 1646.

тории, простирающейся от Ирана на западе до о-вов Самоа на востоке и занимаемой странами — членами ЭСКАТО (Экономической и социальной комиссии ООН для Азии и Тихого океана).

На карте выделен 31 нефтегазоносный бассейн, для которых подсчитана плотность начальных ресурсов нефти и газа (сверхвысокая, очень высокая, средняя, низкая, очень низкая и неопределенная — для недостаточно изученных районов). Кроме того, выделено еще 57 бассейнов, в пределах которых скопления нефти и газа пока не обнаружено, но геологические условия позволяют их предполагать. Системой изолиний отражена мощность осадочных отложений в нефтегазоносных бассейнах, показаны геотектонические структуры, влияющие на условия образования нефтяных и газовых месторождений.

На карту нанесены основные объекты нефтегазовой промышленности региона — сотни месторождений, классифицированных по типу и величине начальных извлекаемых запасов; районы нефтепромысловых и поисково-разведочных работ; действующие и строящиеся нефтеперерабатывающие заводы с указанием их производительности; важнейшие трубопроводы, порты экспорта и импорта нефти, а также единичные скважины в новых районах, дающие представление о практических результатах бурения.

Карта сопровождается Объяснительной запиской², в которой кратко изложены принципы нефтегеологического районирования, охарактеризованы основные нефтегазоносные бассейны, оценены ресурсы нефти и газа региона, приведены сведения о состоянии минерально-сырьевой базы нефтегазовой промышленности.

Новая карта представляет большой интерес для всех, кто интересуется ресурсами энергетического сырья.

Ю. М. Клейнер,
кандидат географических наук

Москва

Геохимия

Изотопы углерода помогают искать нефть и газ

Все важные с экономической точки зрения залежи природных углеводородов образовались в результате термического созревания органического вещества, на всех стадиях которого образуется метан. Группа геохимиков-нефтяников из ФРГ и США проанализировала изотопный состав углерода в метане с целью уточнить геохимические поисковые критерии месторождений нефти и газа.

Изотопный состав метана обусловлен типом органического вещества и степенью его зрелости, что дает возможность установить происхождение газа: образовался ли он при бактериальном разложении органического вещества вблизи земной поверхности или же в условиях повышенных температур в ее глубинах. С нефтепоисковой точки зрения интерес представляет только второй случай.

В результате термического воздействия и с увеличением степени зрелости органического материала метан обогащается изотопом углерода ^{13}C . С подъемом вверх сквозь толщу пород состав углеводородных газов может изменяться под воздействием внешних факторов, причем наиболее значительны его изменения вблизи поверхности, где быстрыми темпами идет бактериальное разложение. Однако изотопный состав метана не изменяется. Поэтому отношение изотопов углерода в метане можно использовать для определения источника газа (поверхностный он или глубинный), а также типа и степени зрелости органического вещества в содержащих его материнских породах. Таким способом можно оценить нефтегазоносный потенциал материнских пород даже в том случае, когда метан, адсорбированный приповерхностными осадками, мигрировал вверх на значительные расстояния.

Авторы приводят формулу, по которой вычисляется отношение содержания изотопов углерода ^{13}C и ^{12}C в иссле-

дуемых образцах. Предложенная ими методика была опробована на ряде месторождений нефти и газа штата Оклахома (США), Мексиканского залива и Северного моря. Метан и другие углеводороды извлекались из образцов осадков специальными пробоотборниками. В наземных условиях образцы отбирались ниже уровня грунтовых вод, в морских — на глубине от 0,6 до 20 м ниже уровня дна. Геохимические исследования показали, что отношения $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ в метане, который аккумулируется осадками над залежами углеводородов, и в газах месторождений весьма близки друг другу. Это доказывает, что миграция метана осуществляется из глубоко расположенных резервуаров, содержащих углеводороды, или же из материнских пород.

Новая методика улучшает результаты поверхностных геохимических исследований на нефть и газ.

American Association of Petroleum Geologists, 1981, v. 65, № 9, p. 1543—1550 (США).



Климатология

Двуокись углерода и климат

Международная группа экспертов, созданная совместным решением Международного совета научных союзов, Комитета по Программе охраны природной среды ООН и Всемирной метеорологической организации опубликовала отчет о влиянии двуокиси углерода, содержащейся в атмосфере, на климат Земли.

За XIX в. содержание CO_2 в атмосфере возросло на 15% и в настоящее время продолжает расти примерно на 0,4% в год. Сжигание ископаемых видов топлива поставляет в атмосферу более $5 \cdot 10^9$ т двуокиси углерода в год. Примерно половина этого количества остается в атмосфере, четверть поглощает Мировой океан, а четверть — биомасса. Более точное распределение CO_2 пока неизвестно, особенно неясна роль биомассы, которая служит и на-

² Объяснительная записка. Ротапринт ВНИИЗарубежгеологии. М., 1981.

копителем углерода и его источником.

В любом случае рост содержания CO_2 нарушает энергетический баланс атмосферы, повышая температуру земной поверхности и прилегающего воздушного слоя. Моделирование таких процессов показывает, что к началу следующего века реально достигнутая концентрация CO_2 в состоянии повысить среднюю поверхность температуры Земли не менее чем на 1°C , причем в высоких широтах Северного полушария эта величина будет много больше, чем в тропиках. Поскольку движущей силой погодных изменений является разность температур между полярными и тропическими районами, можно ожидать существенных изменений в условиях ведения сельского хозяйства и водоснабжения. Так как океанические течения и апвеллинг (подъем богатых питательными веществами глубинных вод к поверхности) в большой мере зависят от ветров, рыболовство тоже окажется подверженным серьезным изменениям. Значительное потепление антарктических вод может в течение последующих столетий привести к разрушению части ледникового покрова на шестом континенте. Наконец, осуществляющееся в невиданных масштабах сведение лесов, которые служат важным поглотителем CO_2 , также способствует возрастанию накоплению CO_2 в атмосфере Земли и, следовательно, неизбежным климатическим изменениям.

Группа экспертов признает, что сравнительно короткий ряд наблюдений (концентрацию CO_2 в атмосфере повсеместно начали измерять лишь в 1957 г. в соответствии с программой Международного геофизического года) и основанные на них данные еще не позволяют делать окончательных выводов. Группа призывает мировую научную общность обратить внимание на следующие аспекты проблемы: 1. Определение количества ископаемого топлива, которое будет потреблено в следующем столетии (существует прогноз, что за следующие 50 лет оно утроится); 2. Перспективы изменения биосферы в глобаль-

ном масштабе; интенсивность замены лесов сельскохозяйственными угольями; 3. Характеристика углеродного цикла в природе; уточнение распределения CO_2 между атмосферой, океаном и биосферой; 4. Более глубокое изучение реакции климата на рост содержания CO_2 в атмосфере; построение математических моделей всей системы, включая воздушную и водную оболочки, сушу, ледовый и снежный покров с учетом поступающей солнечной энергии и химического состава атмосферы; 5. Определение последствий изменения климата для экологических систем и человеческой деятельности (в том числе производство продуктов питания); такие меры, как введение иных сельскохозяйственных культур, ирригация и водоснабжение, развитие или сворачивание рыболовства и т. п., требуют заблаговременных решений, которые пока принять невозможно. В указанных целях необходимо сотрудничество между учеными многих стран и представителями различных дисциплин.

Nature and Resources 1981, v. XVII, № 3, p. 2—5 (ЮНЕСКО, Париж).

Сейсмология

Долговременный прогноз сейсмичности

Сейсмолог Ю. В. Ризниченко (Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР) построил теоретическую модель энергетики сейсмических процессов, их развития в пространстве и времени. Для прогноза сейсмичности в будущем использованы данные о землетрясениях за соизмеримое время в прошлом, сведения о строении и свойствах среды, ее движениях и т. д. Предложенная модель отличается от других моделей сейсмичности, которые имеют в основном статистический характер. Энергетическая модель рассматривает всю сумму сейсмической энергии, выделяющейся в результате землетрясений в некотором объеме горной породы за определенный проме-

жуток времени (обычно за 10 лет). Поэтому модель служит, главным образом, для прогноза всей совокупности землетрясений — и крупных, и мелких, хотя и предусматривается возможность оценки повторяемости наиболее разрушительных подземных толчков.

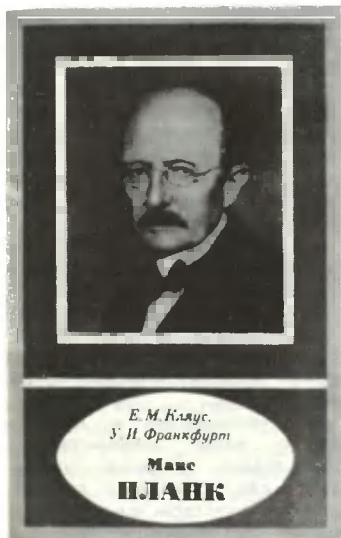
Всю совокупность землетрясений автор назвал «сейсмической погодой». Она зависит от ряда факторов: «сейсмического климата», потенциальной энергии сейсмичности, энергетической прочности среды. «Сейсмический климат» определяется совокупностью тектонических движений. При изучении «сейсмической погоды» «климат» считается неизменным во времени. Потенциальная энергия сейсмичности, напротив, является фактором времени. Она определяется преимущественно потенциальной упругой энергией среды, ее способностью сначала накапливать напряжения, а затем внезапно расходовать их в виде подземного толчка. Другие виды энергии — гравитационная, тепловая, химическая — в возникновении землетрясений играют второстепенную роль. Максимальное значение потенциальной энергии, при достижении которого происходит разрушение среды, т. е. возникает землетрясение, представляет собой ее энергетическую прочность.

Исходя из этих соображений, автор предложил аналитическое выражение, описывающее «сейсмическую погоду». С его помощью рассчитывается энергетическое состояние сейсмических поясов и дается прогноз сейсмической опасности. Получает объяснение также известный «сейсмический цикл» — тенденция к периодичности возникновения сильных землетрясений.

Энергетическая модель сейсмичности проверялась для ряда поясов землетрясений: Курило-Камчатского, Южно-Тянь-Шаньского, Арктического и некоторых других. Наиболее близка к «пределу прочности» Курило-Камчатская зона — сейсмическая опасность там наиболее высока.

История жизни Макса Планка

В. С. Кирсанов,
кандидат физико-математических наук
Москва



Е. М. Кляус, У. И. Франкфурт.
МАКС ПЛАНК. 1858—1947. М.: Наука, Научно-биограф. сер., 1980, 391 с.

Жизнь и творчество Макса Планка не могут не привлекать внимания людей, хоть скольконибудь интересующихся наукой и ее историей. С одной стороны, открытие Планка, приведшее к созданию квантовой теории, стало, по словам Эйнштейна, «основой всех исследований в физике XX века и с тех пор почти полностью обусловило ее развитие» (цит. по рец. изд., с. 96). С другой стороны, Планк исключительно интересен как личность. Его долгая, почти девяностолетняя жизнь обнимает обширный период европейской истории, начиная, как писал Дж. Дж. Томсон, с того времени, когда не было ни ве-

лосипедов, ни автомобилей, ни электрического освещения, ни радио, ни кино, ни телефона, до бурных событий середины двадцатого века, когда человечество сумело не только привыкнуть ко всем вышеперечисленным благам науки и техники, но и успело пережить две наиболее кровавые и разрушительные войны, которые когда-либо приходились на его долю. Все эти события, как научные, так и социальные, получали немедленный отклик в жизни Планка.

Среди великих ученых можно найти — с этой точки зрения — две категории людей. Одни были замкнуты в кругу своих научных занятий, и бурные исторические события мало повлияли на их судьбу или научную карьеру. Так прошла жизнь Ньютона, пережившего без личных потрясений пять королей, гражданскую войну, революцию и реставрацию, так прожил жизнь и соотечественник Планка Густав Кирхгоф (Людвиг Больцман сказал как-то о нем, что в его жизни не было ничего выдающегося, что соответствовало бы необычайности его гения; великие события происходили исключительно в его голове). Другие же ученые, наоборот, даже при всей присущей некоторым из них замкнутости оказывались вовлеченными в водоворот истории. К их числу относится и Планк.

Судьба Планка была отмечена печатью подлинного трагизма. Его старший сын Карл был убит под Верденом в первую мировую войну, обе дочери-близнецы умерли от родов, а в 1945 г. был казнен нацистами другой сын, Эрвин — за участие в заговоре против Гитлера. Дом Планка был разрушен, библиотека, которую он собирал всю жизнь, расхищена. В конце второй мировой войны он и сам едва не погиб — его засыпало в подвале дома в Касселе, где они с женой спасались от бомбежки.

Вполне закономерно, что биография Планка — книга, давно ожидаемая читателем. Она является первой в отечественной литературе обширной работой, посвященной жизни и деятельности создателя теории квантов.

Авторы книги известны многим читателям по работам, ранее выпущенным в той же Научно-биографической серии: «Г.-А. Лоренц» (М., 1974), «Блез Паскаль» (М., 1976); «Нильс Бор» (М., 1977). Книга о Планке, как и предыдущие, делится на две большие части, в первой из которых дается собственно биография ученого, а во второй — биография его научных идей, подробный историко-научный обзор его работ. Собственно, такой обзор, только более популярный и менее детальный, содержится и в первой части книги — это дает возможность читателю сначала представить себе весь круг научных проблем, с которыми сталкивался Планк, в контексте рассказа о его жизненном пути, а затем уже углубиться в их анализ.

Книга рисует запоминающийся психологический портрет. Личность Планка предстает во всей противоречивости и сложности, столь свойственной человеческой натуре. Авторы не замалчивают заблуждений и ошибок Планка, рассказывают, например, о его выступлениях в милитаристском духе в годы первой мировой войны, и мы с вами уже знаем, что «война, которую Планк оправдывал и благословлял с высокой кафедры непререкаемого секретаря Прусской Академии наук, вскоре открыла и ему свое истинное лицо: в мае 16 года под Верденом был смертельно ранен его старший сын Карл» (с. 127). Однако несравненно больше примеров говорит о том, насколько высокими были этические нормы великого физика. В книге приводятся слова Лизы Мейтнер: «То, что Планк считал правильным, он всегда проводил в жизнь без внимания к соб-

ственной персоне» (с. 188—189). Справедливость этих слов после прочтения книги становится очевидной.

У читателя может создаться впечатление, что написанная этой книги было делом довольно легким, поскольку она в значительной степени построена на высказываниях самого Планка. Действительно, Планк представляется в этом плане редкостной фигурой. На протяжении первых ста с лишним страниц книги, например, множество раз цитируются различные работы Планка, а чаще всего «Единство физической картины мира», причем из его высказываний мы узнаем, конечно, не только о физических принципах и проблемах, но, скажем, и о характере Гельмгольца и о многом другом. Точно так же и во второй части Планк снова сам приходит на помощь авторам, поскольку в его работах часто дается подробное изложение истории той или иной физической проблемы. Однако эта легкость и доступность исходного материала — вещь кажущаяся, и мы должны быть благодарны авторам, которые смогли создать у нас такое впечатление.

Написать увлекательную научную биографию современного ученого-физика — дело непростое. Е. М. Кляусу и У. И. Франкфурту это несомненно удалось. Главная причина успеха рецензируемой книги заключена, конечно, в том, что авторы сумели ясно показать значение идей и открытий Планка и дать широкую картину развития тех представлений, эволюция которых была определена его работами — речь идет о законах сохранения, термодинамике и теории излучения. Каждая из этих проблем становится в книге (им посвящены отдельные главы) предметом специального исторического исследования, в процессе которого и выясняется ценность того вклада, который внес в науку Планк. Так, в главе «Закон сохранения энергии» обсуждаются воззрения С. Стевина, Х. Гюйгенса, Р. Декарта, Г. Лейбница и И. Бернулли, а затем и Планка, т. е., по существу, дается исчерпывающий очерк проблемы. В значительной степени то же

самое можно сказать и о других главах второй части.

Весьма интересной представляется последняя глава книги «Учебники и книги М. Планка». Из ее содержания видно, что учебники Планка не были традиционны, они характеризовались не только новизной концепций и подходов, но и новизной результатов. Остается только пожалеть, что такой важный вопрос получил в этой обстоятельной и хорошей книге краткое, я бы сказал, конспективное изложение.

«Говорящие» обезьяны

И. И. Полетаева,
кандидат биологических наук
Москва



Юджин Линден. ОБЕЗЬЯНЫ, ЧЕЛОВЕК И ЯЗЫК. Пер. с англ. Е. П. Крюковой под ред. Е. Н. Панова. М.: Мир, 1981, 272 с.

Специалистам уже более 10 лет известны эксперименты супругов А. и Б. Гарднеров по обучению шимпанзе языку знаков¹, однако подробное изложение и анализа этих экспери-

ментов на русском языке не было. Поэтому выход в свет книги американского популяризатора науки Ю. Линдена, посвященной «говорящим» обезьянам, — событие знаменательное.

Книга эта построена довольно сложно, однако дочитав ее до конца, понимаешь, что ее композиция оправдана внутренней логикой, помогающей без труда преодолевать постепенно нарастающую сложность разбираемых вопросов. Автор ставит перед собой задачу не только убедить читателей в истинности «лингвистических» успехов шимпанзе и обосновать эти результаты с естественно-исторических позиций. Он затрагивает проблемы возникновения языка и становления мышления человека, а также пытается доказать, что появление «говорящих» обезьян должно вынудить человека пересмыслить свое отношение к природе.

Книга эта — еще и про интеллектуальные возможности шимпанзе и животных вообще, ибо способность шимпанзе к освоению языка базируется на такой потенции их мозга, которую нельзя назвать иначе, как интеллектуальной.

Неожиданно и поразительно наше знакомство с обезьянами, которые умеют «ругаться», обладают своеобразным «чувством юмора» и на языке жестов «беседуют» с людьми и даже друг с другом. А ведь еще в 50-х годах считалось доказанным, что научить шимпанзе «разговаривать» невозможно.

В книге рассказывается о начатой программе исследования по обучению шимпанзе языку жестов — «амслену» (одному из употребляемых глухонемыми в США) и связанному с этим анализу интеллектуальных возможностей этих животных. Эта программа осуществляется в Центре по изучению приматов Университета штата Оклахома (в частности, Р. Футсом, работе которого Ю. Линден уделяет много внимания). Начало ей было положено самоотверженной и пионерской работой Аллена и Беатрис Гарднеров. Они воспитали и научили языку жестов молодую самку шимпанзе Ушо, которая обнаружила активное стремление к

¹ Эксперименты А. и Б. Гарднеров и Д. Примак кратко рассматривались в книге: Прибрам К. Язык мозга. М.: Прогресс, 1975.

общению с помощью жестов и заметное прогрессивное усложнение своих «высказываний». Научный мир, а в особенности лингвисты, оказались неподготовленными к такому событию, и в своем большинстве склонны были отрицать, что обезьяна действительно владеет языком жестов.

Отличительной чертой подхода Гарднеров является их стремление к беспристрастной и повышенно строгой оценке языковых достижений Уошо. В результате их вывод о том, что шимпанзе действительно способны к освоению языка жестов (на уровне владения языком двухлетнего ребенка), исключительно убедителен.

Языку обучаются и дети, причем обучаются постепенно, переходя от односложных высказываний к простым, а затем и сложным по конструкции предложениям. Однако когда Гарднерам пришла пора сравнить достижения Уошо с освоением языка детьми, оказалось, что соответствующих данных по детям очень мало, а интерпретация имевшихся была произвольной и «снисходительной». В самом деле, каждый ребенок рано или поздно говорит научится, поэтому в его примитивных высказываниях легко углядеть зачатки сложной речи взрослого. Однако такие же по степени сложности высказывания Уошо полностью открыты для суровой и пристрастной критики, поскольку многих новизна явления явным образом обескураживает.

В процессе освоения ребенком языка происходит развитие одного из важнейших его свойств — перемещаемости, т. е. способности языка сигнализировать об отдаленных во времени и в пространстве событиях. Это необходимо для появления логического этапа — стадии реконституции, когда начинает происходить процесс анализа сообщения и процесс синтеза новых заключений на его основе.

Лингвисты признают, хотя и неохотно, что Уошо овладела первыми этапами развития языка, но при этом считают, что «принципиально человеческая» стадия реконституции ей недосягаема. И хотя Уошо обнаружила «творческий подход» к системе знакового языка, само-

стоятельно придумав несколько знаков, Ю. Линден рассматривает эти сложные вопросы не в плане доказательств «человеческих» способностей обезьяны, а в единственно конструктивном для данного случая аспекте — в аспекте эволюционного становления человека, формирования его способности к труду и появления языка².

В программе экспериментов с обучением шимпанзе амслену планируется организовать несколько направлений, а затем синтезировать их результаты в целостную картину. При этом за основу для сравнения системы коммуникаций у человека и обезьян берется семь признаков языка в формулировке американского лингвиста Ч. Хоккета, которые Ю. Линден обстоятельно рассматривает и объясняет.

Ясно, что способность шимпанзе к общению с помощью амслена и их общение друг с другом в естественных условиях — это явления, по-видимому, совершенно разного порядка. Еще надлежит разобраться, почему мозг шимпанзе обладает такой большой «избыточностью», т. е. возможностями, которые в естественных условиях жизни вида практически никогда не используются. Этой вопрос сродни, с одной стороны, вопросу о неисчерпаемости интеллектуальных возможностей человека, а с другой — вопросу об избыточности в неврологической организации центральной нервной системы позвоночных, и млекопитающих в частности. Оба эти вопроса относятся к разряду «белых пятен» современной биологии.

В попытках научить шимпанзе языку знаков Гарднеры были не одиноки. Д. Примак обучил шимпанзе Сару искусственному языку символов. Однако в отличие от Гарднеров,

пытавшихся беспристрастно оценивать достижения своей ученицы, Примак заранее категорически отвергает саму возможность освоения языка обезьяной, сравнивая подобное обучение с усвоением инструментального условнорефлекторного навыка, оставаясь на классических позициях бихевиоризма. Заметим, что Ю. Линден дает интересное сопоставление бихевиоризма и этологии³ в плане их отношения к эволюционному учению: Свободные, не подкрепляемые лакомствами «беседы» Уошо, которые она нередко по собственному почину вела с людьми, не похожи на последовательность сложных трюков, какой представляются навыки Сары. В то же время в процессе обучения языку символов выявилась чрезвычайно высокая способность шимпанзе к абстрактным логическим операциям — выделению таких общих свойств предметов, как цвет, размер, сходство и различие (и не только реальных предметов, но и высказываний о соотношении предметов).

Заметим, что примитивное умение планировать, т. е. строить поведение целенаправленно, свойственно не только приматам, но и другим животным. Об этом свидетельствует широкое исследование их элементарной рассудочной деятельности, проведенное Л. В. Крушинским и его сотрудниками. Элементарная рассудочная деятельность предполагает наличие у животного способности «улавливать закономерности, связывающие предметы и явления окружающего мира» и строить в соответствии с ними программу своих действий⁴.

³ Бихевиоризм и этология — две различные школы в изучении поведения животных. Бихевиористы исследуют процесс обучения, уделяя основное внимание установлению зависимости реакций животного от раздражителей, поступающих извне. Этологи занимаются сравнительным исследованием адаптивной значимости и эволюционного происхождения поведения.

⁴ Крушинский Л. В. Биологические основы рассудочной деятельности. М.: Изд-во МГУ, 1977.

² Проблема возникновения языка в антропогенезе в связи с развитием мышления очень интересно освещается в брошюре Е. Н. Панова «Знаки, символы, языки» (М.: Знание, 1980), которая может служить не только хорошим дополнением к книге Ю. Линдена, но и обладает достоинствами первоклассного популярного издания.

Вторая часть книги по существу отвечает на вопрос, почему же все-таки, несмотря на существование уже нескольких шимпанзе, овладевших основами языка жестов, многие люди продолжают отрицать эти очевидные факты.

Автор знакомит читателей с концепцией научных революций Т. Куна и утверждает, что устойчивые представления об уникальности человеческого разума сменяются дарвиновской парадигмой, которая отвергает веру в изначально существующую в природе цель. Эта часть книги — уже не изложение научных экспериментов и теоретических положений, а самостоятельная разработка автором темы о родстве человека и животных. Эти мысли созвучны,

наверное, большинству читателей, однако идея Ю. Линдена, что освоение обезьянами «человеческого языка» открыло эпоху «сближения человека и животных», представляется несколько надуманной и утрированной. Нам также кажется, что распространение дарвиновского принципа на науки о поведении — не есть столь новый аспект естествознания, как это представляется Ю. Линдену. Этология (об этом говорит и он сам) интенсивно развивается уже несколько десятилетий, а ведь одной из основ этой науки является именно эволюционное учение.

Автор книги — не зоолог, не лингвист, не антрополог. Он профессиональный писатель, который, на наш взгляд, доста-

точно преуспел в попытке разобрататься в одной из наиболее сложных проблем — очень старой и очень современной проблеме родства человека и животных. Ясно, что книга не может быть свободной от недостатков непрофессиональной оценки сложных научных вопросов, но перечислять такие недостатки, видимо, нет нужды. Гораздо важнее другое — автор смог познакомить читателя с миром «разговаривающего шимпанзе» и убедить нас в том, что это не миф, а реальность. Эта новая реальность не может вызвать иной реакции, кроме восхищения талантом исследователей и глубокой убежденности, что эти работы — весомый, крупный шаг в познании человеком самого себя.

НОВЫЕ КНИГИ

Физика

У. Кауфман. КОСМИЧЕСКИЕ РУБЕЖИ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ. Пер. с англ. Н. В. Мицкевича. М.: Мир, 1981, 349 с., ц. 1 р. 20 к.

Последние достижения астрономии и астрофизики, которыми столь богаты прошедшие два десятилетия, невозможно понять без ОТО — общей теории относительности, разработанной А. Эйнштейном почти 70 лет назад. В отличие от специальной теории относительности, которую достаточно широко преподают в вузах и которой посвящены сотни популярных книг, ОТО остается гораздо менее доступной для понимания. И неудивительно, многие ее положения и следствия не укладываются в привычные представления: свет распространяется не по прямой, пространство — время искривляется, должны существовать объекты, чье сильнейшее гравитационное поле все захва-

тывает, не давая вырваться наружу даже лучу света. Книга У. Кауфмана написана для тех, кто, не сталкиваясь профессионально с ОТО, пытается все это понять.

В книге дается общедоступное изложение основ ОТО, ее приложений и существующих экспериментальных проверок теории. Не применяя сложного математического аппарата ОТО, а используя наглядные иллюстрации, графики и диаграммы (всего их в книге более 200), автору удается рассказать о различных решениях уравнений Эйнштейна и вытекающих из них следствиях — черных дырах, сферических, вращающихся и заряженных, не менее экзотических белых и серых дырах и т. д. Естественно, не обходится вопрос о наблюдении этих необычных объектов. Рассматриваются объекты, которые при дальнейшем изучении могут оказаться черными дырами. При этом излагаются блестящие работы С. Хринга, в которых

предсказан эффект рождения пар частица — античастица в мощном гравитационном поле черной дыры.

Одно из следствий ОТО — гравитационные волны, поиски которых уже давно ведутся в лабораториях мира. Состояние этого вопроса на сегодня также нашло отражение в книге У. Кауфмана. Книга снабжена довольно подробным словарем терминов, что облегчает ее чтение. Нет сомнений, что она окажется полезной всем, кто хочет познакомиться с событиями, происходящими «на переднем крае» развития современной физики и астрофизики.

Астрономия. Геология

П. В. Флоренский, А. И. Дабига. МЕТЕОРИТНЫЙ КРАТЕР ЖАМАНШИН. М.: Наука, 1980, 128 с., ц. 1 р. 20 к.

Исследование ударно-взрывных кратеров привлекает

все более пристальное внимание ученых разных специальностей — геологов, физиков, астрономов. Некоторые исследователи, например К. П. Флоренский, приписывают ударным процессам планетоформирующую роль, доказывая, что возникновение атмосферы и гидросферы происходит в результате выделения газов и летучих веществ при взрывах падающих тел на самых ранних этапах развития планет.

К проблеме кратерообразования тесно примыкает и проблема происхождения тектитов — природных стекол, рассеянных в различных районах Земли¹. В нашей стране тектиты найдены совсем недавно. В 1967 г. в Северном Приаралье, в метеоритном кратере Жаманшин были обнаружены стекла, которые позже были отождествлены П. В. Флоренским с тектитами. Первые советские тектиты были названы иргизитами по названию реки Иргиз, в бассейне которой расположен кратер Жаманшин². Важность этой находки состоит в том, что тектиты впервые в мире были обнаружены непосредственно в метеоритном кратере. Этот факт позволяет связывать происхождение тектитов с ударно-взрывным процессом на Земле, опровергая гипотезы об их внеземном и вулканическом происхождении.

Понятен в связи с вышесказанным большой интерес к изучению тектитов Жаманшина и самого кратера среди отечественных и зарубежных исследователей. Монография П. В. Флоренского и А. И. Дабижи является обобщением разносторонних данных по этому поводу — геологических, геофизических, геохимических. Особо хотелось бы отметить полноту геофизической изученности кратера Жаманшин, что является

в первую очередь заслугой безвременно ушедшего из жизни А. И. Дабижи, много успевшего сделать в геологии ударного кратерообразования и, по сути дела, заложившего основу геофизического изучения ударных структур.

Несомненно, что дальнейшее изучение структуры и продуктов удара поможет решению общих геологических проблем взаимодействия Земли и космоса.

О. И. Яковлев,
кандидат геолого-минералогических наук
Москва

Биология

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КРИОБИОЛОГИИ. Под общ. ред. Н. С. Пушкаря и А. М. Белоуса. Киев: Наукова думка, 1981, 608 с., ц. 5 р. 70 к.

Криобиология — наука о жизненных процессах, происходящих при воздействии холода,— изучает, как понижение температуры внешней среды влияет на физиологические и структурные особенности биологических систем, и разрабатывает подходы и методы криозащиты.

В книге рассматриваются механизмы криповреждений и криозащиты биологических структур на различных уровнях их организации (макромолекулы, биомембраны, клетки, ткани); освещаются физико-химические феномены, происходящие в криобиологических системах; показаны возможности математического моделирования изучаемых процессов; излагаются иммунобиологические проблемы консервирования тканей и их трансплантации при низких температурах; обобщаются данные по отогреву живых систем; приводятся сведения о техническом обеспечении программного замораживания.

Книга предназначена для исследователей, работающих в области использования низких температур, в медицине, народном хозяйстве, для био-

химиков, биофизиков, студентов вузов биологического профиля.

Биология

В. В. Петров. РАСТИТЕЛЬНЫЙ МИР НАШЕЙ РОДИНЫ. М.: Просвещение, 1981, 191 с., ц. 1 р. 10 к.

Книга знакомит читателя с растительным покровом на территории СССР. Первые пять глав посвящены отдельным природным зонам. Это дает возможность составить представление о растительном мире тундры, лесов (причем в отдельных главах описаны хвойные и широколиственные леса), степей и пустынь. Две главы раскрывают многообразие растительных форм, встречающихся на лугах, болотах и в водоемах. Уникальность горных ландшафтов сделала целесообразным выделение специальной главы о растительном мире гор, описанном на примере Кавказа.

Последняя, девятая глава «Охрана растительного мира нашей родины» имеет особое значение, поскольку книге предназначена для воспитательной и педагогической работы со школьниками. Книга хорошо иллюстрирована.

Биология

Ю. С. Аракчеев. ДЖУНГЛИ ВО ДВОРЕ. М.: Мысль, 1981, 159 с., ц. 1 р. 60 к.

У зоологической научно-популярной литературы есть свои «любимчики» в животном мире. Среди них одно из первых мест занимает насекомые. Всем известны имена Жюль Анри Фабра, автора десяти томных «Энтомологических воспоминаний» или, допустим, его соотечественника Реми Шовена. Один из основателей «Природы» В. А. Вагнер занимался инстинктами насекомых и писал о них популярные книги. С. С. Четвериков, замечательные воспоминания которого печатала «Природа» в прошлом году, также выступал с популярными работа-

¹ Добровольский С. П., Соболев Э. В., Флоренский К. П. Происхождение тектитов. — Природа, 1967, № 8, с. 88.

² Флоренский П. В. Иргизиты — тектиты из метеоритного кратера Жаманшин. — Природа, 1976, № 1, с. 85.

ми по энтомологии. Большим успехом пользуются и сейчас книги о насекомых, написанные, как правило, профессиональными учеными.

В данном случае Юрий Аракчеев, профессиональный писатель, рассказывает о насекомых и некоторых других представителях фауны Подмосковья или даже московских дворов — тех, кого широкая публика привыкла считать «редными», «мерзкими» или в крайнем случае невзрачными. Форма и стиль книги очень увлекательны.

Цветные фотографические работы автора, хорошо отпечатанные на мелованной бумаге, обладают большими эстетическими и документальными достоинствами и позволяют считать автора профессионалом не только в литературе, но и в фотографии. Многие страницы книги посвящены сложным перипетиям получения этих снимков.

Психология

А. Д. Логвиненко. ЗРИТЕЛЬНОЕ ВОСПРИЯТИЕ ПРОСТРАНСТВА. М.: Изд-во Московского университета, 1981, 224 с., ц. 75 к.

Плодотворный анализ психических механизмов зрительного восприятия возможен, по мнению автора, лишь при подходе к зрительному образу как к многоплановому психическому образованию, в котором различаются видимое поле, зрительное пространство и видимый мир — понятия, введенные автором и свидетельствующие о возможной рассогласованности между видимым и воспринятым.

Основываясь на теории А. Н. Леонтьева, А. Д. Логвиненко при анализе структуры сознания выделяет чувственную ткань (сенсорный материал, в котором существует предметное содержание образа) и само предметное содержание (то, что в данный момент видит человек). При этом зрительное восприятие пространства не отделимо от слуховых и пространственных образов и представлений, уже существующих в памяти.

В книге освещаются такие

вопросы, как стереопсис (процесс и результат восприятия глубины), стабильность зрительного мира, адаптация к оптическим изменениям изображений на сетчатке. Книга предназначена философам и психологам, но может заинтересовать и более широкие круги читателей.

География

В. А. Маркин. ПЛАНЕТЫ ЛЕДЯНОЙ ВЕНЕЦ. Л.: Гидрометеоназдат, 1981, 120 с., ц. 65 к.

Эта книга, предназначенная широкому кругу читателей, рассказывает об уникальной природе, а также об истории изучения Земли Франца-Иосифа. Этот архипелаг, объединяющий около двухсот островов общей площадью более 16 тыс. км², — самый северный участок суши Евразии, на 85% покрытый льдами. Автор книги — гляциолог, участвовавший в гляциологических экспедициях в Арктику, в высокогорье Кавказа и Тянь-Шаня, на север Забайкалья и Камчатку, работал на Земле Франца-Иосифа в составе экспедиции Международного геофизического года (МГГ).

В книге говорится об открытии архипелага австрийской экспедицией около столетия назад, об этапах изучения этой «маленькой Антарктиды», связанных с развитием международного сотрудничества ученых в Арктике. В историческое повествование вплетены четыре «отступления в МГГ», из которых читатель узнает о современных исследованиях на Земле Франца-Иосифа. Даны яркие картины ее неповторимой природы. В Северном полушарии нет зимы с более холодным летом и большим количеством метелей и туманных дней. Нигде на Земле нет такого собрания относительно небольших ледниковых куполов — их триста пятьдесят. Животный и растительный мир архипелага уникален своей бедностью. Открытие здесь миниатюрной полярной ивы в 1930 г. стало событием в мире ботаники.

Богатство архипелага, как пишет автор, — не в полезных ископаемых, хотя здесь находят небольшие месторождения бу-

рого угля и кварцевые жилы с вметистом. Этот арктический архипелаг — бесценный памятник природы, сохранившийся в своем первозданном виде. Настоящий музей под открытым небом. Музей ледникового периода и современных ледников. Музей арктических животных и растений. И, конечно же, музей истории арктических экспедиций.

История науки

Г. А. Лихеткин. ЛОМОНОСОВ В ПЕТЕРБУРГЕ. Сер. «Выдающиеся деятели науки и культуры в Петербурге — Петрограде — Ленинграде». Л.: Лениздат, 1981, 240 с., ц. 90 к.

24-летний Ломоносов попал в Северную столицу, когда она была старше его всего на восемь лет. Автор подробно описывает здания, принадлежавшие в то время Академии наук — Кунсткамеру и дворец вдовы Ивана V (о третьем здании — монастырском подворье на Васильевском о-ве — документов до нашего времени не сохранилось), дает характеристики учителям, руководителям Академии и друзьям Ломоносова (И. Ф. Генкелю, И. Д. Шумахеру, Х. А. Геллерту, Л. Эйлеру, И. А. Корфю, Г. В. Крафту, К. Г. Разумовскому, Г. В. Рихману и др.). Читатель узнает о том, как ученые разыскивали местонахождение квартиры Ломоносова. Оказалось, что он жил в доме генерала Г. И. Бона, расположенном на Васильевском о-ве. Этот дом был приобретен в 1739 г. Академией наук и разрушен во время Великой Отечественной войны. Немало страниц уделено автором спору Ломоносова и Тредиаковского, научной и практической деятельности Ломоносова, в частности участию в изготовлении мозаичных смальт, прозрачных и цветных стекол.

Книга построена на большом документальном материале, снабжена чертежами зданий, где жил и работал Ломоносов, портретами первых ученых Академии, репродукциями мозаичных картин. Она предназначена для широкой читательской аудитории.

Портреты из коллекции Ф. Ф. Вигеля

Н. Г. Сапрыкина

Москва

В Отчете Московского университета за 1852—1853 гг. в графе «Замечательные приобретения» сообщается о том, что «тайный советник Вигель пожертвовал в пользу Библиотеки Императорского университета Собрание 3139 отдельных гравированных портретов и до 800 рисунков, в особых изданиях помещенных»¹. Эта коллекция и по сей день хранится в отделе редких книг и рукописей научной библиотеки им. А. М. Горького МГУ.

Как и каждое частное собрание, коллекция гравированных портретов Ф. Ф. Вигеля отражает интересы ее владельца, знания и вкусы определенной среды и эпохи, а следовательно, является памятником культуры своего времени. Но она интересна не только с этой стороны. Нам хотелось бы привлечь внимание к этой коллекции как богатому источнику по иконографии многочисленных деятелей разных стран и эпох. Историки, в том числе и историки науки, могут здесь обнаружить для себя много неожиданностей.

О владельце коллекции Филиппе Филипповиче Вигеле (1786—1856), приятеле Пушкина, Карамзина, Вяземского, Бартъев А. и Н. Тургеневых, Бестужева-Марлинского, Гнедича, бывшем в дружеской переписке с Жуковским, Загоскиным, сохранилось множество отзывов, как о чело-

веке острого ума, обладающем блестящим литературным талантом. В историю русской культуры Вигель вошел как автор мемуаров², где дана галерея портретов современников, увлекательная картина жизни и быта России конца XVIII — первой четверти XIX вв.

О своем происхождении Вигель рассказывал, что по отцу, который был Киевским комендантом и Пензенским губернатором, он — «фин, или эст, или попросту сказать, чухонец», по матери он принадлежал к русскому дворянскому роду Лебедевых. Родился он в симбирской деревне отца, детство провел в Киеве, воспитывался в доме московского генерал-губернатора И. Н. Салтыкова и в частном пансионе; позже изучал русский язык вместе с сыновьями князя С. Ф. Голицына под руководством знаменитого баснописца Крылова. В 1805 г. Вигель был определен на службу в Московский архив Коллегии иностранных дел, в 1810-е годы работал в Архитектурном комитете Петербурга.

В 1815 г. Вигель стал членом литературного общества «Арзамас». К этому времени относится и начало его дружбы с Пушкиным. Известны строки из «Дневника» поэта: «Я люблю его разговор — он занимателен и делен...»³. Как память о дружеских отношениях в коллекции Вигеля хранится гравированный портрет Пушкина 1827 г. работы Н. И. Уткина с оригинала О. А. Кипренского с автографом великого поэта.

С 1823 г. Вигель — чиновник по управлению Новорос-

сийской губернией и Бессарабской областью, позднее — бессарабский вице-губернатор, керченский градоначальник⁴, вице-директор и директор Департамента иностранных вероисповеданий. В 1840 г., оставив службу, Вигель поселяется в Москве, но ежегодно переезжает с места на место, совершает путешествия по России и за границу. Будучи человеком одиноким, не имея прямых наследников, он заботится о судьбе своей коллекции портретов — и за три года до смерти дарит ее Московскому университету.

Попав в библиотеку университета, собрание портретов было разделено на две коллекции — русскую и иностранную. Русская часть, включающая 415 гравюр и литографий, описана в недавно вышедшей книге⁵.

В портретной галерее соотечественников Вигеля — изображения друзей коллекционера, светских красавиц, актеров. Писатели, поэты, композиторы, художники, полководцы, герои Отечественной войны 1812 г., путешественники — разные люди фигурируют в этой части коллекции. Она могла бы послужить хорошим материалом для иллюстрирования мемуаров Вигеля. При этом многие портреты являются лучшими по исполнению и преимущественно прижизненными изображениями. Русская часть коллекции представляет безусловный интерес

⁴ Рукопись Вигеля «Записка о Керче» хранится в Отделе редких книг и рукописей НБ МГУ в составе личной библиотеки Дмитриевых.

⁵ Сапрыкина Н. Г. Коллекция портретов собрания Ф. Ф. Вигеля. Гравюра и литография XVIII — первой пол. XIX в. Аннотированный и иллюстрированный каталог. М., 1980.

¹ Отчет о состоянии и действиях Императорского Московского университета за 1852—1853 академический и 1853 гражданский годы. М., с. 50.

² Вигель Ф. Ф. Записки. Т. 1—2. М., 1928.

³ Пушкин А. С. Дневник (1833—1835). Под ред. Б. Л. Модзалевского. М. — Пг., 1923, с. 5.



М. В. Ломоносов. Гравюра А. Ухтомского.

П. Г. Демидов. Гравюра А. Грачева.

и как собрание работ известных мастеров гравюры и литографии. Среди них имена Ив. Соколова, И. А. Берсенева, Е. П. Чемесова, А. Ухтомского, Н. И. Уткина, А. Г. Венецианова, О. А. Кипренского. Собрание насчитывает также десятки листов, исполненных иностранными граверами, работавшими в России, — Х. А. Вортманом, А. Радигом, Дж. Уокером.

Вторую, значительно большую часть коллекции занимают иностранные портреты. Полного описания этого раздела еще не существует, а между тем он имеет немалое познавательное значение, так как охватывает изображения исторических деятелей Западной Европы XVI—XIX вв. Здесь собраны сотни листов английской, французской, немецкой и других школ. Среди портретов иностранной части собрания произведения таких крупнейших мастеров гравюры, как семейство Зандрартов и Килианов, Г. Шмидт, И. М. Бернигерот, Дж. Вертю, Н. Лармесен, О. де Сент-Обен.

Любопытно, что коллекция Вигеля дает возможность познакомиться с интересными, а подчас и уникальными портретами людей, так или иначе причастных к развитию и популяризации естественных наук. Наряду с Коперником, Парацельсом, Леонардом Эйлером, французскими энциклопедистами, мы встречаем в собрании Вигеля портреты его современников, профессоров Московского университета Г. И. Фишера, В. М. Рихтера и многих других естествоиспытателей. Мы познакомим читателей с несколькими листами, особенно примечательными в иконографическом, историческом отношении или с точки зрения мастерства исполнения.

В коллекции представлены три изображения Михаила





А. К. Разумовский. Гравюра неизвестного автора.



В. Гаюн. Гравюра А. Ф. Сержана-Марсо.

Васильевича Ломоносова. Впервые, это гравюра Х. А. Вортмана, которая здесь не воспроизводится, так как она довольно хорошо известна и уже публиковалась в «Природе»⁶. Портрет Ломоносова работы Вортмана является копией с гравюры Э. Фессара, которая послужила прототипом всех известных нам прижизненных и многих посмертных портретов Ломоносова. Вортман изобразил ученого сидящим за столом в рабочем кабинете, а фоном служит вид Усть-Рудицкой фабрики.

Два других портрета Ломоносова из коллекции Вигеля — работы А. Ухтомского и Н. Соколова. Они в известном смысле повторяют гравюры

Фессара — Вортмана, но изображение ученого поясное, заключено в овал, а фон отсутствует. Андрей Ухтомский (1770 — после 1858) — известный гравёр на меди, академик Академии художеств. Портрет Ломоносова исполнен им в технике резцовой гравюры. Среди множества работ Ухтомского этот портрет ценится по безупречно тщательной технике исполнения. Лист работы Ухтомского из коллекции Вигеля представляет собой первый оттиск (до подписи мастера).

Николай Соколов (даты жизни неизвестны) — автор другого портрета Ломоносова — принадлежал к так называемой «бекетовской школе». В начале XIX в. П. П. Бекетов, известный историк, любитель и собиратель гравюр, предпринял издания портретов выдающихся русских людей. В коллекции

Вигеля сохранились листы двух изданий Бекетова: «Пантеон российских авторов» (М., 1801) и «Собрание портретов россиян, знаменитых по своим деяниям... с приложением их кратких жизнеописаний» (М., 1821—1824). Гравированы были все портреты пунктирным способом. Бекетов создал для своего издательского предприятия школу крепостных гравёров.

Среди листов, исполненных учеником той же бекетовской школы, солдатом лейб-гвардии Семеновского полка Алексеем Грачевым (ок. 1780 — после 1850) привлекает внимание портрет П. Г. Демидова. Павел Григорьевич Демидов (1738—1821) был личностью, несомненно, незаурядной. Он принадлежал к знаменитому роду горнопромышленников Демидовых, получил образование в Геттингенском университете и

⁶ См.: Сафонова Н. И. Сокровищница книг и рукописей. — Природа, 1980, № 5, с. 75.



М. Сервет. Гравюра К. Фриша.

Фрейбергской академии, а в Упсале слушал лекции по естественной истории и ботанике у знаменитого Линнея, с которым впоследствии находился в постоянной переписке. Вернувшись в Россию, П. Г. Демидов отказался в пользу братьев от владения горными заводами и полностью отдался занятиям естественными науками. Во время зарубежных путешествий он составил замечательную естественнонаучную коллекцию, которую вместе с ценнейшей библиотекой подарил Московскому университету. Он пожертвовал университету также свой минц-кабинет, составленный из нескольких тысяч монет и медалей. Библиотека и коллекция Павла Демидова составляли так называемый «Музеум Демидова», занимавший три зала в здании Московского университета,

но, к сожалению, почти целиком погибший в пожаре 1812 г.⁷

Живописный портрет Демидова, с которого Грачев исполнил гравюру, был сделан значительно раньше замечательным художником Федором Рокотовым. Местонахождение оригинала неизвестно, поэтому посредственная в художественном отношении гравюра Грачева приобретает ценность. Демидов изображен в своем «кабинете редкостей», в окружении книг, коллекции раковин и других атрибутов своих естественнонаучных увлечений. Гравюра была выполнена в год смерти Демидова и прилагалась к книге: Признательное воспоминание Московского университета в день рождения... Павла Григорьевича Демидова, досточтимого любителя и благо-

⁷ См.: Павлов В. Н. Гербарий Московского университета. — Природа, 1980, № 5, с. 84.

ворителя наук. М., Университетская типография, 1821.

К сожалению, нам неизвестно имя мастера, исполнившего портрет Алексея Кирилловича Разумовского (1740—1822), сенатора, попечителя Московского университета и его учебного округа, а затем министра народного просвещения. Ему, безусловно, принадлежат большие заслуги в деле развития ботаники в России⁸. Сад Разумовского в имении Горенки под Москвой был одним из первых ботанических исследовательских центров. Разумовский покровительствовал Московскому обществу испытателей природы и состоял его первым президентом. Человек мизантропического характера, он не любил ни придворной, ни светской жизни и страстно увлекался ботаникой. Портрет его из вигелевской коллекции исполнен с высоким профессиональным мастерством.

К лучшим гравюрам в иностранной части собрания Вигеля относится изображение Валентина Гаюи (1745—1822) — одного из основоположников тифлопедагогики, основателя Института для слепых детей в Париже. Брат известного французского кристаллографа Рене Жюста Гаюи, Валентин Гаюи изобрел «рельефное письмо» для слепых, создал систему обучения слепых чтению, письму, арифметике, ремеслам и музыке. Методы обучения Гаюи получили распространение во многих странах. В Петербурге под его руководством был открыт первый в России институт для слепых. Рассматриваемый нами

⁸ См.: Белоножко Ю. А. Страницы истории отечественной ботаники. — Природа, 1980, № 4, с. 94.

Лист под названием «Берлинские ученые», на котором изображены: А. Гумбольдт, Г. Гегель, Ф. Д. Шлейермахер, А. В. Невидер, В. Гумбольдт, К. Риттер, Х. В. Гуфеланд. Авторство литографии не указано.



DAS BEREHRTE BERLIN.

- 1. W. Humboldt
- 2. Hegel
- 3. A. Humboldt

7. Hegel

- 4. F. Schlegel
- 5. Schlegel
- 6. Schlegel

Printed and sold by...

портрет В. Гаюи (1779) работы А. Ф. Сержана-Марсо исполнен с оригинала французской художницы Морис Женевьев Фарвар.

Автор гравюры Антуан Франсуа Сержан-Марсо (1751—1847) — ученик Огюстена де Сент-Обена, превосходный рисовальщик, мастер цветной гравюры и политический деятель. Он участвовал во взятии Бастилии, был секретарем якобинцев, членом Конвента. Аресты, возвращения и снова изгнания, скитания по Италии вместе с женой — сестрой знаменитого генерала Ф. С. Марсо — такова была его бурная, насыщенная событиями жизнь. После его смерти остались альбомы, книги воспоминаний, а главное — великолепно исполненные портреты современников. Живость мысли, ум, насмешливая ирония светятся в блестящем портрете В. Гаюи. Сержан достигает здесь тонких красочных эффектов, напоминающих тона размытой акварели.

Безусловный интерес вызывает портрет Мигеля Сервета (1509/1511—1553) — испанского мыслителя, врача и естествоиспытателя. Ему приписывается открытие малого круга

кровообращения. Как еретик, он был сожжен в Женеве в 1553 г. Вместе с ним было сожжено и анонимное издание его книги "Cristianismi restitio" (1553), где, наряду с религиозными, Сервет изложил свои философские и естественнонаучные воззрения. Портрет Сервета исполнен немецким гравером Кристианом Фричем (1695—1769), о чем свидетельствует надпись под изображением. Гравюра была приложена к книге: Henricus A. Allwoerden. Historia Michaelis Serveti. Helmsstadt, 1727. Оригиналом для нее явился портрет работы Вана Зихема, который ныне утрачен. Гравюра интересна не только портретным изображением, но и тем, что автор намеренно напоминает зрителю о страшной судьбе Сервета: фоном портрету служит сцена смертной казни ученого.

В 20-е годы XIX в. в Берлине в литографской мастерской Георга Гропиуса стали выходить портреты знаменитых людей Германии. Это были групповые портреты государственных деятелей, писателей, ученых. С листа под названием «берлинские ученые», хранящегося в коллекции Вигеля, на зрителя смотрят

Александр Гумбольдт и еще «шесть великих мужей» Германии того времени: знаменитый философ Георг Вильгельм Фридрих Гегель; Фридрих Даниэль Шлейермахер — философ и теолог, профессор Геттингенского и Берлинского университетов; Август Вильгельм Неандер — известный церковный историк; Вильгельм Гумбольдт — старший брат А. Гумбольдта, один из основателей Берлинского университета; Карл Риттер — географ, профессор Берлинского университета, член Берлинской Академии наук; Христофор Вильгельм Гуфеланд — один из знаменитых врачей своего времени. Портрет ученых привлекает выразительностью. Шероховатая поверхность литографского камня позволила художнику нанести сочные контурные линии и достичь наибольшего эффекта в мягкой тонированной моделировке лиц. Легкие линии литографского карандаша хранят свежесть быстрого наброска, пластическую объемность форм.

Представленные на рассмотрение читателей листы из коллекции Вигеля являются лишь крохотной частью этого удивительного собрания.

Художник П. Г. АБЕЛИН
Художественные редакторы:
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:
Т. Д. МИРЛИС, М. Б. РЫБИНА

Адрес редакции:
117049, Москва, ГСП-1,
Мароковский пер., 26.
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 5.02.82.
Подписано к печати 15.03.82.
Т-03953.
Формат бумаги 70×100 1/16
Офсет
Усл.-печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 1635,6 тыс.
Уч.-изд. л. 15,7
Бум. л. 4
Тираж 61 100 экз. Зак. 362

Ордена Трудового Красного Знамени
Чеховский полиграфический
комбинат ВО «Союзполиграфпром»
Государственного комитета СССР
по делам издательства, полиграфии
и книжной торговли.
г. Чехов Московской области.



В следующем номере

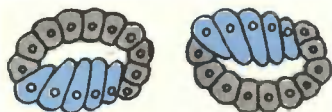
«Его образ остается столь же ярким и незабываемым, как и в те дни, когда он был среди нас.»

Валентин Александрович Догель (к 100-летию со дня рождения)

Полянский Ю. И. Мы — ученики Догеля!

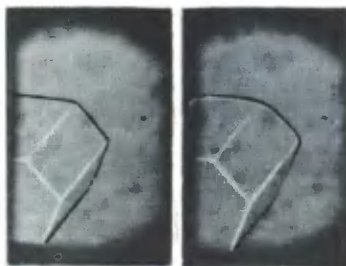
Чеснова Л. В. Создатель экологической паразитологии.

Реймер Л. Мой путь к Догелю.



Хордовые — это перевернутые со спины на брюхо вторичноротые. Так утверждает автор новой гипотезы о происхождении хордовых.

Малахов В. В. Новый взгляд на происхождение хордовых.



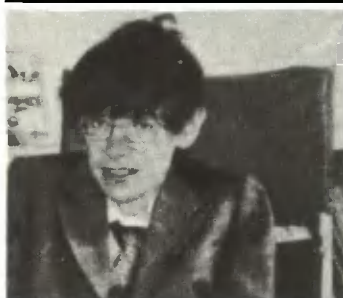
Недавно в Институте физических проблем АН СССР была обнаружена целая группа необычных явлений, происходящих на поверхности кристаллов гелия и обусловленных существованием специфического квантового состояния поверхности этих кристаллов.

Паршин А. Я. Когерентная кристаллизация и кристаллизационные волны.



Редко кому удавалось увидеть этого самого мелкого в нашей стране дальневосточного оленя. Автор преуспел не только в этом, но и изучил характер и повадки осторожного таежного зверя.

Зайцев В. А. По следу кабарги.



Кафедру математики Кембриджского университета, профессорами которой были И. Ньютон, его учитель И. Барроу, П. Дирак, занял С. Хокинг, чьи работы в значительной степени сформировали современный облик теории тяготения. Публикуется лекция, прочитанная при вступлении Хокинга в эту должность. Она представляет собой сжатое и в то же время увлекательное описание современного состояния теории элементарных частиц и космологии.

Хокинг С. Виден ли конец теоретической физики?

Цена 80 коп.
Индекс 70707

