

ISSN 0032-874X

ПРИРОДА

2 89



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик
Н. Г. БАСОВ

Кандидат физико-математических наук
А. И. АНТИПОВ

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТЮШКОВ

Член-корреспондент АН СССР
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук
А. А. ВЕЛИЧКО

Академик
В. А. ГОВЫРИН

Заместитель главного редактора
Ю. Н. ЕЛДЫШЕВ

Член-корреспондент АН СССР
Г. А. ЗАВАРЗИН

Академик
В. Т. ИВАНОВ

Доктор физико-математических наук
Н. П. КАЛАШНИКОВ

Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА

Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Кандидат физико-математических наук
А. А. КОМАР

Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ

Доктор геолого-минералогических наук
И. Н. КРЫЛОВ

Доктор философских наук
Н. В. МАРКОВ

Ответственный секретарь
В. М. ПОЛЫНИН

Доктор исторических наук
П. И. ПУЧКОВ

Заместитель главного редактора
академик
Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ

Доктор философских наук
Ю. В. САЧКОВ

Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ

Академик АН УССР
А. А. СОЗИНОВ

Академик
В. Е. СОКОЛОВ

Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ

Заместитель главного редактора
член-корреспондент АН СССР
Л. П. ФЕОКТИСТОВ

Академик
В. Е. ХАИН

Доктор физико-математических наук
А. М. ЧЕРЕПАЩУК

Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ

ПРИРОДА

Ежемесячный
популярный
естественнонаучный журнал
Академии наук СССР

Издается с января 1912 года



НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Сложная пространственная структура в сгоревшем диске из первоначально однородного термита. Эта структура характеризует особенности не столько материала, сколько самого процесса горения. См. в номере: Мержанов А. Г., Руманов Э. Н. Как устроены процессы.

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Фрагмент росписи собора Рождества Богородицы в Ферапонтове. См. в номере: Наумова М. М., Писарева С. А. Какими красками писал Дионисий?



— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участ. в деятельности этой программы.



© Москва «Наука»
Природа 1989

В НОМЕРЕ

3 **ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ: ДВА ГОДА СПУСТЯ.**
(Интервью с Ю. А. Осипьяном)

После сенсационного открытия А. Мюллера и Г. Беднорца высокотемпературные сверхпроводники прочно завладели умами и делами многотысячной армии физиков, химиков, материаловедов. О достижениях и проблемах в этой области рассказывает заместитель председателя Научного совета по высокотемпературной сверхпроводимости.

17 **Струнников В. А.**
ТРЕТЬЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Как показали опыты на тутовом шелкопряде, кроме двух общепризнанных типов изменчивости — мутационной и модификационной — существует третий тип, названный реализационной изменчивостью.

28 **Башкин В. Н.**
АГРОХИМИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА НА ЛАНДШАФТЫ

Химизация сельского хозяйства оборачивается загрязнением ландшафтов, воды и пищевых продуктов. В рамках новой ветви биогеохимии — агрогеохимии — разрабатываются подходы к снижению агрохимической нагрузки на ландшафты и оздоровлению среды.

35 **Беляев А. А.**
МАЛОАЗИАТСКИЙ ТРИТОН

Этот вид еще очень мало изучен. Но может случиться, что раньше, чем мы будем знать о нем все, он исчезнет из нашей фауны.

38 **Лисицын А. П.**
ГЛАВНЫЕ ХРАНИЛИЩА СУЛЬФИДНЫХ РУД НА ДНЕ ОКЕАНА

Первые исследования с глубоководных аппаратов «Мир» в Атлантике позволяют считать, что гидротермальные постройки из сульфидных руд не растворяются, а сохраняются тысячи и миллионы лет.

52 **Наумова М. М., Писарева С. А.**
КАКИМИ КРАСКАМИ ПИСАЛ ДИОНИСИЙ?

Благодаря исследованию составе красочного слоя росписей собора Рождества Богородицы комплекс современных физико-химических методов впервые получены научные данные о технике настенной живописи Дионисия.

62 **Бадер Н. О., Мерперт Н. Я., Мунчаев Р. М.**
СОВЕТСКИЕ АРХЕОЛОГИ В СИРИИ

На огромных теллах — остатках тысячелетиями существовавших поселений — впервые ведут раскопки советские археологи с целью всестороннего изучения исторического и культурного развития древнейшей Месопотамии.

65 **Мержанов А. Г., Руманов Э. Н.**
КАК УСТРОЕНЫ ПРОЦЕССЫ

Почему в неравновесных системах могут устанавливаться особые, не зависящие от начальных условий режимы течения процессов, которые характеризуются определенной временной и пространственной структурой? Как и почему система переходит от одного такого режима к другому? Макроскопическая кинетика пытается ответить на эти вопросы.

74 **Рафес П. М., Гниненко Ю. И.**
ЭВОЛЮЦИЯ БЕРЕЗОВОЙ ПЯДЕНИЦЫ

Из множества насекомых березовая пяденица удостоена особого внимания биологов — стала классическим примером микроэволюции. Но оканчивается, на ее примере можно проследить и ход крупных эволюционных преобразований.

81 **Белинцев Б. Н.**
САМООРГАНИЗАЦИЯ В РАЗВИТИИ ЗАРОДЫША

Понять движущие силы сложнейшего биологического явления — развития зародыша — задача чрезвычайно сложная и до сих пор еще не решенная. Предложенная теоретическая модель, в которой использованы физические подходы, может быть весьма полезной для понимания механизмов морфогенеза.

90 **Ахундов М. Д., Баженов Л. Б.**
У ИСТОКОВ ИДЕОЛОГИЗИРОВАННОЙ НАУКИ

Трудно назвать область науки в нашей стране, которая не испытала бы пагубного воздействия идеологического давления и не понесла бы в связи с этим заметных потерь. Истоки этих трагических событий в санкционированном Сталиным разгроме марксистской философии.

100 **Лазарев А. И., Авакян С. В., Севастьянов В. И.**
ОРЕОЛ ВОКРУГ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Среди множества крупных и мелких загадок, ожидавших человека в космосе, — свечение у поверхности спутников и кораблей, причины которого до конца пока не ясны.

103 **НОВОСТИ НАУКИ (16, 27, 80)**

121 **РЕЦЕНЗИИ**

124 **НОВЫЕ КНИГИ (51)**

125 **ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ**

Илизаров С. С.
ЗА СТРОКОЙ АРХИВНОГО ДОКУМЕНТА

CONTENTS

3 High-temperature superconductivity: two years on. (Interview with Yu. A. Osipyan)

Following the sensational discovery by A. Müller and G. Bednorz, high-temperature superconductors have captured the imagination of physicists, chemists and experts in related fields. Deputy Chairman of the Research Council on High-Temperature Superconductivity, Yu. A. Osipyan, discusses problems and achievements in this fascinating field of research.

17 Strunnikov V. A.
THE THIRD MUTABILITY

Experiments with silkworms have revealed a new type of variability called "realizational" mutability.

28 Bashkin V. N.
AGROCHEMICAL PRESSURE ON THE LANDSCAPES

Agrogeochemistry, a new branch of biogeochemistry, studies ways of reducing the scale of pollution and making our environment, including water and food-stuffs, healthier.

35 Belyaev A. A.
TRITURUS VITTATUS

This species has hardly been studied, yet chances are that it may become extinct before we learn more about it.

38 Lisitsyn A. P.
STORES OF SULFIDE ORES ON THE OCEAN FLOOR

Explorations in the Atlantic by manned submersibles "Mir" indicate that the bulk of sulfide ores on the seabed is concentrated in numerous ancient ore formations protected from dissolution for thousands and millions of years.

52 Naumova M. M., Pisareva S. A.
WHAT PAINTS DID DIONISIUS USE?

The application of advanced physico-chemical methods in studies of the frescoes of the Cathedral of Nativity of the Blessed Virgin has yielded new data on the painting technique of Dionisius.

62 Bader N. O., Merpert N. Ya., Munchaev R. M.
SOVIET ARCHEOLOGISTS IN SYRIA

Excavations of ancient settlements have unearthed new data on the historical and cultural development of Mesopotamia.

65 Merzhanov A. G., Rumanov E. N.
NOW PROCESSES EVOLVE

Processes with peculiar temporal and spatial structure can occur in some non-equilibrium systems independently of the initial conditions. How and why does a system pass from one regime to another? Macroscopic kinetics tries to answer these questions.

74 Raffles P. M., Gninenko Yu. I.
EVOLUTION OF THE PEPPERED MOTH

Of the multitude of insects the Peppered Moth has become a classical example of microevolution, but it can also be used to trace major evolutionary changes.

81 Belintsev B. N.
SELF-ORGANIZATION IN THE DEVELOPMENT OF THE EMBRYO

Understanding the driving force of the development of the embryo is difficult; a theoretical model incorporating physical approaches may help in understanding the mechanics involved.

90 Akhundov M. D., Bazhenov L. B.
SCIENCE SUBORDINATE TO IDEOLOGY

Hardly a branch of science in the Soviet Union has not suffered from ideological pressure arresting its advancement. At the root of the tragic events was the smashing of Marxist philosophy authorized by Stalin.

100 Lazarev A. I., Avakyan S. V., Sevastyanov V. I.
HALO AROUND SPACESHIPS

Radiation observed near the surface of artificial satellites and spaceships still remains enigmatic.

103 SCIENCE NEWS (16, 27, 80)**121** BOOK REVIEWS**124** NEW BOOKS**125** MEETING WITH A FORGOTTEN PAST
Ilizarov S. S.
BETWEEN THE LINES OF ARCHIVE DOCUMENTS

интервью с
Ю. А. Осипьяном

Высокотемпературная сверхпроводимость: ДВА ГОДА СПУСТЯ

Явление сверхпроводимости было открыто в 1911 г. голландским физиком Х. Камерлинг-Оннесом, когда он обнаружил, что ртуть, охлажденная до 4,2 К, полностью теряет электрическое сопротивление. В дальнейшем сверхпроводимость была найдена почти у трех десятков металлов, большого числа сплавов и интерметаллических соединений, у некоторых полупроводников и полимеров. Температура перехода в сверхпроводящее состояние слегка изменялась от соединения к соединению, но неизменно оставалась крайне низкой, доступной лишь при охлаждении жидким гелием. За 75 лет физикам удалось продвинуться вверх по шкале температур меньше чем на 20 градусов: еще два года назад рекорд принадлежал соединению Nb_3Ge с температурой перехода 23,2 К.

В 1986 г. появилась работа сотрудников швейцарского филиала американской фирмы IBM Г. Беднорца и А. Мюллера, в которой они в достаточно осторожной форме сообщали о «возможной сверхпроводимости в керамической системе $La-Ba-Cu-O$ ». Эта работа произвела сенсацию в научном мире. Уже через год их исследование было отмечено Нобелевской премией¹. Следующий важный шаг очень быстро после публикации Мюллера и Беднорца сделал П. Чу, американский физик из Хьюстонского университета, с сотрудниками, который, заменив лантан на иттрий, поднял температуру сверхпроводящего перехода до 93 К — выше температуры кипения жидкого азота.

Новые сверхпроводники, вырвавшиеся из цепких объятий гелиевых температур, сразу же прочно завладели умами и делами многотысячной армии физиков. В лабораториях работали, не считаясь со временем и усталостью, семинары проходили при переполненных аудиториях, программы научных совещаний включали сотни названий докладов. Сейчас, когда проходит лихорадочное возбуждение ветеранов и неофитов сверхпроводимости, когда с газетных полос начинают исчезать сенсационные сообщения, зачастую преждевременные, научная жизнь входит в привычную колею кропотливого дотошного поиска. Как видно из беседы Ю. А. Осипьяна с нашим корреспондентом И. Н. Арутюнян, настала пора спокойного осмысления полученных результатов, планирования будущих исследований, но не подведения даже предварительных итогов.

¹ Максимов Е. Г., Лауреаты Нобелевской премии 1987 года. По физике — А. Мюллер и Г. Беднорц // Природа. 1988. № 1. С. 98—100.

«В ИЗУЧЕНИИ сверхпроводимости через 75 лет после ее открытия начался новый, очень интересный этап» — такими словами В. Л. Гинзбург заканчивал свою статью в «Природе», написанную по горячим следам открытия Мюллера и Беднорца¹. Она имела характерную для публикаций того времени эмоциональную окраску, отразившуюся в подзаголовке «мечта становится реальностью». Прошло два года. И какова же, на Ваш взгляд, реальность? Что нового сделали физики за это время?

Когда Мюллер и Беднорц открыли высокотемпературную сверхпроводимость (ВТСП), то поначалу казалось, что они обнаружили некое вещество, свойства которого

выходят за рамки привычных представлений о сверхпроводниках. Окислы, которые мы считали просто диэлектриками, вдруг оказались обладающими ВТСП. Нужно было понять, является ли это каким-то исключением, или же найден новый класс сверхпроводников. И вот главное, что, на мой взгляд, было сделано за два года исследований, — это открытие многих десятков новых веществ, имеющих высокую температуру перехода в сверхпроводящее состояние.

Свойство ВТСП устойчиво демонстрируют четыре группы веществ: лантановые сверхпроводники типа открытых Беднорцем и Мюллером, иттриевые сверхпроводники, обнаруженные Чу, и еще две группы сверхпроводников соответственно на основе висмута и таллия. Почему это важно? Сначала казалось, что ВТСП реализуется только в соединениях, содержащих редкоземельные эле-

¹ Гинзбург В. Л. Высокотемпературная сверхпроводимость (мечта становится реальностью) // Природа. 1987. № 7. С. 16—30.



Юрий Андреевич Осипьян, академик, вице-президент АН СССР, директор Института физики твердого тела АН СССР, профессор Московского физико-технического института, вице-президент Международного союза теоретической и прикладной физики. Основные научные интересы связаны с физикой кристаллов, одномерных систем, фундаментальными проблемами сверхпроводимости. Герой Социалистического Труда.

менты и медь. Это сужало круг поисков, и исследователи довольно быстро перебрали все «редкие земли», получив для соответствующих веществ близкие температуры перехода в сверхпроводящее состояние. Это породило даже некий пессимизм. Теперь ВТСП получена без «редких земель» и даже без меди (соединения с калием вместо меди имеют критическую температуру около 30 К).

Все это показывает, что ВТСП — гораздо более распространенное явление, чем думали два года назад. Значит, можно надеяться на открытие все новых классов веществ, среди которых могут оказаться соединения с еще более высокой температурой перехода в сверхпроводящее состояние. Как не порадоваться таким перспективам?

Юрий Андреевич, многообразие веществ, обладающих ВТСП, казалось бы, должно привести к установлению некоторых закономерностей. Но, как мне кажется, поиски до сих пор идут эмпирическим путем.

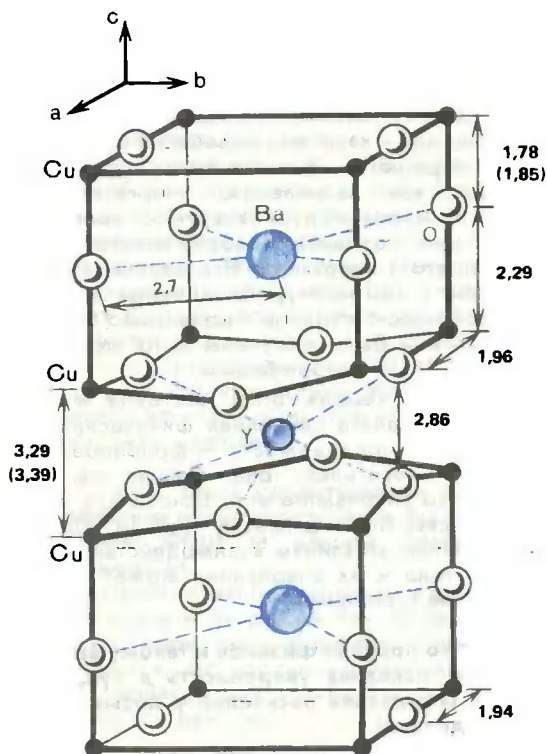
Действительно, внутри упомянутых групп веществ, и в частности в таллиевой группе, просматриваются кое-какие качественные закономерности: связь структуры этих веществ с температурой перехода. Но это пока не точные соотношения, приводящие к какой-то количественной модели, а

лишь установление некоторых корреляций между особенностями структуры данных соединений и температурой перехода. Оказалось, например, что температура сверхпроводящего перехода для таллиевых соединений сильно зависит от предыстории образца: при какой температуре он получался, обрабатывался и т. п. Потом удалось уловить и некоторые закономерности. Выяснилось, что в таллиевых соединениях могут существовать 4 типа структур (как принято говорить, фаз), родственных по типу входящих в них элементов, но различающихся их количеством. В частности, таллиевые фазы отличаются числом медно-кислородных слоев, находящихся между двумя таллиевокислородными слоями. Эмпирическая закономерность такова: при одном слое температура перехода самая низкая — около 80 К (хотя и выше, чем у многих до сих пор известных соединений), при двух промежуточных слоях мы имеем уже 110 К, при трех слоях — 125 К, а при четырех называется температура 162 К. Пока это рекордное значение.

Насколько надежны эти результаты?

Не могу пока сказать. Что значит «надежно»? В смысле устойчивого воспроизведения? Посмотрите на основную систему, употребляемую человечеством сотни лет, — систему железо — углерод, которая в зависимости от состояния может быть чугуном, а может быть и сталью. Она изучалась около 200 лет в сотнях и тысячах экспериментов, где уточнялись границы растворимости углерода, диапазоны температур устойчивости разных фаз и многое другое. Сколько тысяч людей внесли свой вклад в эту пирамиду знаний — а ведь здесь всего лишь двухкомпонентная система! В таллиевых соединениях мы имеем дело с пятикомпонентной системой, структура которой очень сложна. Все упомянутые четыре фазы могут сосуществовать в одном образце. Область их существования — температурная и концентрационная — четко не очерчена, границы фаз мы определяем эмпирически. Вот попали случайно в состав, где имелась фаза с четырьмя слоями, и установили рекорд. Китайским физикам, которым принадлежит это достижение, повезло.

За 70 лет работы со сверхпроводниками мы хорошо научились определять состояние сверхпроводимости по нулевому сопротивлению или по вытеснению магнитного поля из образца (эффекту Мейснера). Сверхпроводящее состояние фиксируется надежно. Обнаружено, что стоит образец обработать немного не так, скажем на 5 гра-



Расположение атомов в элементарной ячейке кристалла $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ относительно кристаллофизической системы координат абс. Указаны размеры (в ангстремах) для несверхпроводящей тетрагональной модификации и сверхпроводящей орторомбической [значения в скобках].

дусов изменить температуру отжига, и вы теряете эти 162 К. Материаловедам хорошо известно, что соотношение между фазами чрезвычайно чувствительно к температуре отжига или скорости охлаждения образца. Вам покажется, что эксперимент ненадежен, а на самом деле вы просто потеряли нужную фазу. Она в принципе была возможна в таком составе, но не выделилась, растворилась.

Давайте договоримся на будущее. Новые сверхпроводники — не просто определенный класс химических веществ, но и определенный способ их изготовления. Когда мы говорим о керамике, то подразумеваем поликристаллическую смесь. Другой полюс — монокристалл. Чтобы его вырастить, образец должен быть однофазным. Мы пока не знаем рецепта обработки, приводящего к однофазным таллиевым образцам, пусть и не рекордным по температурам сверхпроводящего перехода. Но даже имея смесь

фаз, с помощью электронных микроскопов можно определить структурные параметры каждой из этих фаз по отдельности. Попадая электронным или рентгеновским лучом в конкретное место, где расположена та или иная фаза, мы получим всю информацию, необходимую для расшифровки ее структуры. А если удастся сделать так, что исследованная фаза занимает весь образец, то его можно уже использовать для обычных исследований. В этом случае получатся надежные, хорошо воспроизводимые результаты.

Есть что-то общее между названными Вами четырьмя классами высокотемпературных сверхпроводников!

Физики-теоретики называют моделью описание явлений на микроскопическом уровне. Однако на первом этапе можно рассматривать явление не столь глубоко, довольствуясь макроскопическим описанием. На этом «этаже» уже видны кое-какие закономерности. Здесь основную роль играет, как теперь выясняется, поведение кислорода. Все остальное — некая площадка, «сцена», предоставленная кислороду для «самовыражения»: от особенностей химической связи кислорода с другими элементами зависит поведение образца. Пока кислород присутствует во всех соединениях, обладающих ВТСП. (Сначала думали, что нет ВТСП без меди. Теперь сверхпроводники без меди обнаружены, а сверхпроводников без кислорода пока нет.) Мой тезис относительно роли кислорода я проиллюстрирую последними результатами исследований, в которых я участвую непосредственно.

Мы работали с иттриевыми веществами, в которых число атомов кислорода сведено к минимуму — до 6—7 атомов на элементарную ячейку. Теперь хорошо известно, что соединение $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$ сверхпроводником не является — сверхпроводящие свойства оно приобретает в том случае, если чуточку добавить кислорода, но так, чтобы его стало не больше 7 атомов, иными словами, «сверхпроводящая драма» разыгрывается на отрезке от 6 до 7 кислородных атомов.

Итак, мы взяли вещество с 6 атомами кислорода, т. е. не сверхпроводник, и добавили туда хлор — соединение стало сверхпроводником! Так неужели это хлор принес сверхпроводимость? Да, но не сам по себе. Скорей всего, он вытеснил какой-то атом кислорода, «сев» на его место. А вытесненный кислород занял место тех атомов, при добавлении которых иттриевый образец становится сверхпроводящим $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$. Это

очень важный экспериментальный результат, полученный пока только у нас в стране.

Но ведь старые, классические сверхпроводники прекрасно обходились без кислорода. Не значит ли это, что мы имеем дело с новым явлением, имеющим мало общего с тем, что мы ранее называли сверхпроводимостью?

Отнюдь нет. Это лишь еще один аргумент в пользу того, что сверхпроводимость — явление не уникальное, а довольно распространенное. Здесь напрашивается аналогия с ферромагнетизмом. Известно, что вещества, обладающих этим свойством, довольно много. Есть простые ферромагнетики (железо, кобальт), есть сплавы, у которых отдельные компоненты в твердом состоянии вовсе не обладают ферромагнетизмом. Температура перехода из ферромагнитного состояния в неферромагнитное, называемая точкой Кюри, «плавает» в широких пределах от одного вещества к другому. Различие достигает иногда 500 градусов. Мы надеемся, что природа одарила нас не меньшим разнообразием сверхпроводящих веществ, отличающихся температурами перехода из обычного состояния в сверхпроводящее. Нам надо понять, какой механизм отвечает за такой переход, создать научную основу для понимания явления сверхпроводимости.

Вы имеете в виду, что существовавшая теория оказалась несостоятельной при объяснении ВТСП?

Видите ли, сейчас, по сути дела, нет даже адекватной модели явления ВТСП. Как известно, при объяснении обычной сверхпроводимости ключевым является представление о так называемой бозе-конденсации носителей тока, которые все находятся в состоянии с наименьшей энергией. Так же объясняется сверхтекучесть гелия, и сверхпроводимость рассматривается как сверхтекучесть носителей тока. Но носителями тока обычно являются электроны или дырки. Эти объекты имеют спин, равный $1/2$, и потому, согласно принципу Паули, не могут находиться в одинаковых энергетических состояниях. Бозе-конденсат на них образоваться не может. В 1956 г. американский физик Л. Купер предложил модель объединения носителей заряда в пары, имеющие нулевой спин. Такие комплексы из двух электронов или двух дырок уже могут образовать конденсат, что приводит к сверхпроводимости. На основе модели Купера в 1957 г. Дж. Бардином, Л. Купером и Дж. Шриффером была построена микро-

скопическая теория сверхпроводимости. В этой теории (ее по фамилиям создателей называют теорией БКШ) объединение в куперовские пары происходит из-за притяжения между носителями, вызванного обменом фононами — квантами колебаний кристаллической решетки. Энергия связи пары определяет так называемую энергетическую щель — минимальную энергию, необходимую для создания возбужденного («распаренного») состояния. Эта величина тесно связана с температурой перехода в сверхпроводящее состояние. Независимо близкие результаты были получены в то же время в СССР Н. Н. Боголюбовым.

Итак, теория БКШ состояла в том, что была понята основная физическая модель сверхпроводимости — фононное спаривание носителей тока. Сейчас мы считаем, что спаривание есть основа для понимания сверхпроводимости вообще. Однако конкретный механизм взаимодействия носителей тока и их спаривания может быть и иным, не фононным.

Что привело физиков к такому выводу? На чем основана уверенность в существовании спаривания носителей у новых сверхпроводников?

Если есть спаривание, то эффективными носителями тока являются пары электронов или дырок. Тогда удвоенный заряд электрона играет роль единичного заряда в сверхпроводимости. При измерениях различных электрических свойств новых сверхпроводников заряд $2e$ действительно появляется во всех результатах. Это проверено надежно. Но как происходит спаривание, каким образом один электрон влияет на другой — в этом и состоит основная проблема для физиков. В принципе, возможны разные механизмы, связанные с обменом какими-то возбуждениями в электронной системе или кристаллической решетке. Судя по всему, только обмен фононами в соответствии с БКШ не должен привести к высоким температурам перехода в сверхпроводящее состояние, наблюдаемым сейчас в новом классе сверхпроводников. Поэтому интенсивно разрабатывается множество других механизмов спаривания: экситонный, магнетонный, поларонный, биполаронный и т. д. У каждого из этих механизмов есть свои приверженцы, и главное, что все они способны работать на сверхпроводимость. Но какой именно реализуется в исследуемых сейчас веществах — мы пока не знаем.

Так, в теории БКШ существует важный параметр: отношение величины энерге-

тической щели к тепловой энергии (по сути, к критической температуре). По теории БКШ этот параметр равен примерно 3,5, а эксперименты дают значения от 2 до 8. Значит, трайтовка эксперимента неоднозначна, и определенные выводы делать пока рано. Другой пример: БКШ имеет дело с колебаниями решетки, и поэтому важные физические результаты имеют вполне определенную зависимость от массы ионов, ее образующих. Теперь представим себе, что мы заменили ионы некоторых элементов на их изотопы. Все осталось по-прежнему, но изменилась масса ионов и, стало быть, должна измениться критическая температура и другие характеристики. Исследование изотопного эффекта — другой путь проверки различных моделей.

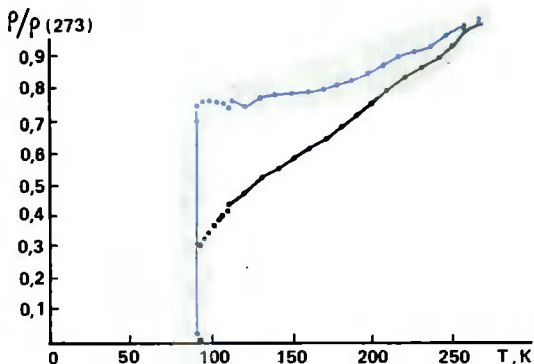
То есть само существование изотопного эффекта свидетельствовало бы в пользу теории БКШ! И каковы результаты экспериментов!

Эксперименты по изотопному эффекту пока не сказали ни да, ни нет. Более того, появились теоретические работы, в которых утверждается, что изотопный эффект вовсе не есть необходимый атрибут теории БКШ, как считалось раньше.

Но проведены ли за последние два года эксперименты, которые «похоронили» бы какие-то из моделей и дали надежду другим!

Нет, таких экспериментов не было. Сейчас идет накопление данных. Некоторые результаты «с налету» можно было бы трактовать как исключющие ту или иную модель. Но здесь необходима осторожность. И модели могут модифицироваться, и эксперименты могут показать, что прежние результаты касались какой-то одной стороны явления и их необходимо дополнить. Высокотемпературная сверхпроводимость — явление очень разнообразное. Не только в смысле комбинации веществ, в которых оно проявляется, но и в отношении механизмов, которыми может осуществляться. Приведу еще один пример из области, которой я непосредственно занимаюсь.

Новый класс сверхпроводников, как уже говорилось, имеет слоистую структуру. В этих материалах существует некоторая упаковка плоскостей, внутри каждой из которых имеется плоская сетка из атомов. Атомы взаимодействуют между собой, но взаимодействие между плоскостями отличается от взаимодействия внутри плоскости. Встает вопрос: каковы электрические свойства такой системы в нормальном, не

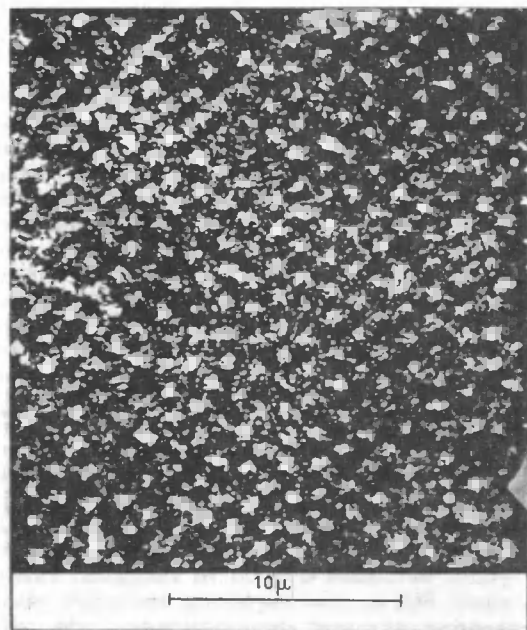


Температурные зависимости удельного сопротивления монокристаллического образца $YBa_2Cu_3O_{6+\delta}$, измеренные вдоль осей кристалла (цветная кривая) и поперек. Наблюдается анизотропия сопротивления, возрастающая с понижением температуры. Температурный ход сопротивления в обоих направлениях имеет характерный для металлов вид. Это означает что в нормальном состоянии это соединение является сильно анизотропным трехмерным металлом.

сверхпроводящем, состоянии вдоль плоскостей и поперек? Первые эксперименты показали как будто, что эти свойства совершенно различны. Измеряя зависимость электрического сопротивления монокристаллов от температуры, удалось найти, что сопротивление при движении электронов вдоль плоскостей имеет особенности, характерные для металлов. У металлов число носителей тока остается постоянным, и сопротивление зависит только от их рассеяния на решетке. Чем меньше температура, тем меньше колебания решетки, а значит, слабее рассеяние и меньше сопротивление. Именно такая зависимость была обнаружена вдоль плоскостей. Поперек плоскостей она была совсем иной: сопротивление увеличивалось при уменьшении температуры. Это обычно характерно для полупроводников. Там при понижении температуры происходит «вымораживание», уменьшение числа носителей тока, что ведет к росту сопротивления.

Таким образом, опыты вроде бы подтверждали представления о разном характере взаимодействия внутри плоскостей и между ними. Этот факт лег в основу весьма популярной сейчас модели резонансной валентной связи, построенной американским ученым Ф. Андерсоном. Кстати, модель Андерсона очень похожа на квантовую модель химической связи, разработанную около 40 лет назад Л. Полингом.

В нашем институте мы исследовали анизотропию электрических свойств новых сверхпроводников, взяв в качестве образ-



Изображение решетки вихрей Абрикосова, полученное в сканирующем электронном микроскопе на поверхности базисной плоскости ab монокристалла $YBa_2Cu_3O_{6+\delta}$ путем декорирования его поверхности мелкими ферромагнитными частицами.

цов весьма совершенные монокристаллы. Оказалось, что чем лучше кристалл, тем более металлическим является характер проводимости также и в направлении, перпендикулярном плоскостям. Таким образом, нам удалось показать, что очень чистый совершенный монокристалл иттриевого сверхпроводника представляет собой в нормальном состоянии объемный металл, но с разными по величине константами, характеризующими его свойства, по различным направлениям. Эксперименты были выполнены группой под руководством И. Ф. Щеголева. Полученный результат очень важен, так как позволяет делать выбор между разными моделями. Так, он ставит под серьезное сомнение модель Андерсона в ее первоначальном варианте. Хотя не исключено, что модель может быть модифицирована так, что возникшее противоречие исчезнет. Это вполне нормальная ситуация, характерная для развития науки.

Мы исследовали также распределение сверхпроводящего тока по сечению образца. Оказалось, что монокристаллы имеют гораздо больше общего с металлическими сверхпроводниками 2-го рода, чем мы сначала думали. Известно, что магнитное поле

вытесняется из сверхпроводников. В сверхпроводниках 2-го рода это явление имеет специфические особенности. Поле сначала проникает в сверхпроводник в виде нитей, квантов магнитного потока, а затем при дальнейшем увеличении напряженности разрушает сверхпроводимость. Теория этого явления была построена А. А. Абрикосовым. Нам удалось прямыми визуальными методами наблюдать распределение этих нитей, названных вихрями Абрикосова. Мы посыпали образец тонким слоем ферромагнитного порошка, который, естественно, концентрировался в области вихрей. Получилась красивая картинка, которую мы наблюдали с помощью электронного микроскопа. Кружочки порошка распределялись на поверхности, образуя треугольную решетку и отражая распределение магнитного поля. Простым экспериментальным методом, используя подобные картинки, мы измерили важный параметр — глубину проникновения поля, которая связана с расстоянием между вихрями (0,3 мкм). Из наличия правильной решетки вихрей мы сделали вывод, что ток распределен по всему телу образца, а не концентрируется локально в определенных местах. Это очень хорошо, так как позволяет надеяться, что можно получить большую величину тока, при которой сверхпроводимость еще не разрушается. Сходные результаты получены в США и Японии, но по исследованию анизотропии вихревых решеток в монокристаллах мы их опередили.

Эти работы Вы проводили с соединениями на основе иттрия. А как обстоят дела с соединениями на основе висмута и таллия?

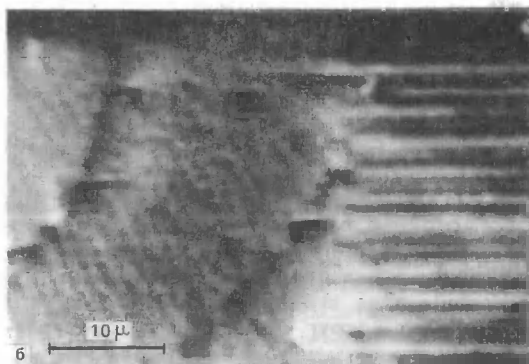
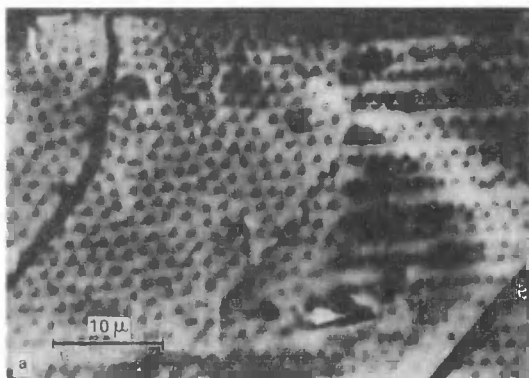
Чтобы исследовать анизотропию, надо иметь монокристаллы. А таллиевые и висмутные соединения в виде достаточно совершенных монокристаллов пока нигде не получены. Мы этим сейчас заняты и каждый день пытаемся получить монокристаллы, которые можно исследовать. Требования к их совершенству весьма велики. Ведь первые опыты, где получались разные характеристики в плоскостях и в перпендикулярном к ним направлении, тоже проводилось на монокристаллах. Уже потом выяснилось, что наблюдаемое качественное различие есть не что иное, как артефакт, возникающий из-за дефектов структуры. Совершенные кристаллы делают у нас в институте, в Институте кристаллографии АН СССР, в Харькове в НИИ монокристаллов (Минхимпром СССР). Это — три основных организации. Но изготовление монокристаллов — старое искусство. Я не исключаю, что нежиз-

данно могут появиться сведения о приготовлении совершенных монокристаллов и в других местах. Должен сказать, что таллиевые соединения впервые были получены в США в Университете штата Арканзас, который до того совсем не был известен как место, где ведутся исследования по сверхпроводимости. Но там быстро возникла группа энтузиастов, которые получили новый результат, опередив старожилов этой науки.

Юрий Андреевич, какова же тогда роль теории в таких специфических обстоятельствах, когда возможно все, что не запрещено? Что может дать практике знание механизма спаривания?

Было бы по меньшей мере наивно считать, что результаты научного поиска немедленно отразятся на практике, что мы сможем сказать, какое соединение конкретно станет лучшим сверхпроводником для практических приложений. Возьмите классические области знания, например теорию прочности. Мы рассчитываем все межатомные связи, пишем сложные уравнения. Но можем ли мы на основе теории сказать, какие надо взять добавки, чтобы получить сверхпрочную сталь? К сожалению, нет. Так и в сверхпроводимости. Новые соединения синтезируются эмпирически, на основе каких-то качественных соображений. Понимание механизма ВТСП пополнит и уточнит эти соображения, но вряд ли поможет с определенностью сказать, какое соединение надо исследовать. Тем не менее оно задаст русло поисков. Наука в том и состоит, что иногда освещает, как прожектором, такой путь, который в темноте можно и не найти. Это не значит, что в темноте искать ничего не надо. У нас пока нет 100 %-ной гарантии, что мы «включим» этот «прожектор» в проблеме ВТСП.

Важно, что наука саморегулируется, новые проблемы возникают в процессе разрешения старых. Начав работать с новыми сверхпроводниками, мы выяснили, что далеко не все знаем и про старые. Я уже говорил об изотопном эффекте, который считался подтверждением теории БКШ. Теперь, когда мы стали перебирать все сверхпроводники, рассматривая их свойства сквозь призму справедливости БКШ, выяснилось, что добрая треть старых сверхпроводников имеет не только не ту величину изотопного эффекта, но даже и обратный знак его хода. Но значит ли это, что фоновый механизм опровергнут? Не думаю. Другое дело, что на него могут накладываться и другие виды взаимодействий. В каких-то конкретных соединениях может



Фотографии одного и того же участка декорированной ферромагнитными частицами поверхности монокристалла $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.8}$ в поляризационном оптическом микроскопе: сверху — в неполяризованном свете, внизу — в поляризованном свете. На верхней фотографии отчетливо видно, что вихри (мелкие, регулярно расположенные точки) группируются вблизи границы двойников (линейные структуры на фотографии внизу).

доминировать один механизм, в других — иной.

Один из главных результатов обнаружения ВТСП в том, что мы поняли важность исследования других механизмов спаривания. Моя точка зрения: работает сочетание различных механизмов. Мы знаем, что различные механизмы не запрещены, а стало быть, возможно и одновременное действие нескольких из них.

Температура перехода определяется крепостью спаривания носителей тока. Если носители связаны сильно, то требуется большая энергия, чтобы их разорвать. Значит, можно нагревать образец до высокой температуры, а носители тока останутся спаренными и сверхпроводимость будет сохраняться. Наша мечта — чтобы в природе существовал такой механизм сильного спаривания. Природа его спрятала, а мы пытаемся выявить. Многообразие возможных меха-

низмов спаривания для меня как для исследователя очень привлекательно. Если бы действовал только фононный механизм, то надо было бы оценить, в каких соединениях он дает наибольший эффект. Маловероятно, что при этом обнаружилось бы соединение с особенно высокой критической температурой. Фононный механизм имеет свои пределы. Разнообразие механизмов предоставляет нам широкое поле для деятельности.

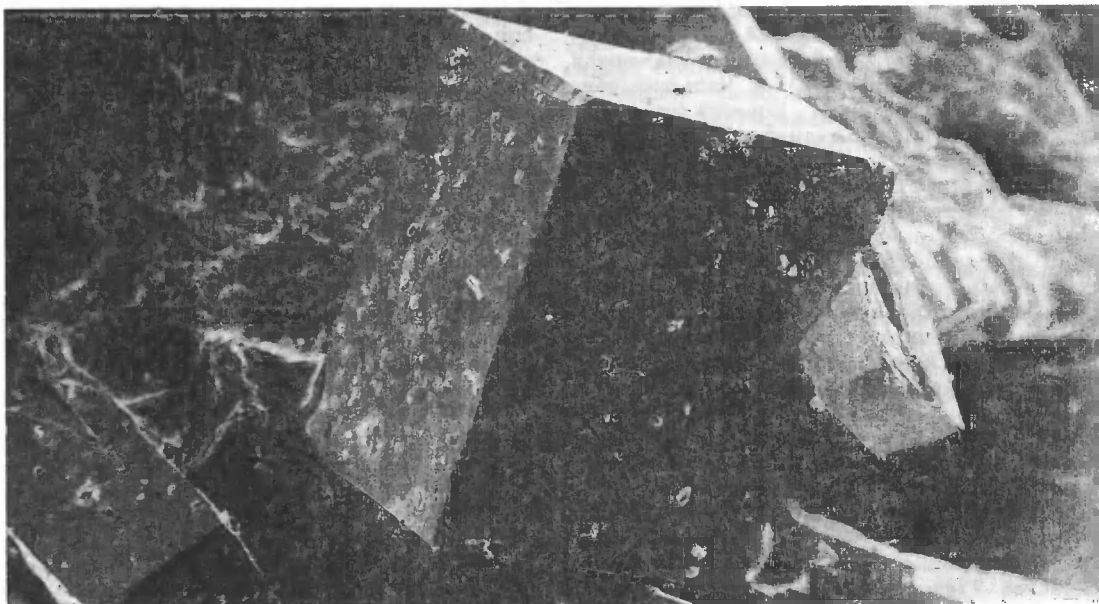
А хорошие теоретические работы в любом случае не пропадут. Что означают противоречия между мной, экспериментатором, и теоретиком Андерсоном? Только то, что в данном классе соединений его механизм, вероятно, не является определяющим. Но завтра может найтись другое соединение. Главное, модель Андерсона красива, логически естественна и потому не может быть абсолютно неверной. Основываясь, по сути, на тех же представлениях, А. М. Поляков, А. А. Белавин и П. В. Вигман из Института теоретической физики им. Л. Д. Ландау АН СССР провели гораздо более общее рассмотрение с помощью методов квантовой теории поля. Очень красивые феноменологические результаты В. Л. Гинзбурга, основанные на его ранних идеях. Все, что происходит вокруг ВТСП, стимулирует развитие новых физических идей, красивых математических методов. Открывшееся многообразие возможностей обогащает многие области науки. Само по себе это так же важно, как и достижение практической пользы на каком-то конкретном классе сверхпроводников. Если в конференции по ВТСП участвует тысяча лучших физиков современности, то не служит ли это убедительным подтверждением активного развития данной области науки? Возникла будоражащая ситуация, когда каждый хочет сказать, что он по этому поводу думает и как решает те или иные проблемы. Для научных работников, как и для инженеров и технологов, сейчас очень счастливое время. Практика и наука развиваются параллельно, взаимно поддерживая друг друга. А многообразие возможностей не надо бояться. Иногда апогеем исследований является сведение идей к единой форме. Иногда же наука торжествует, продемонстрировав, что нечто является очень широким и многообразным явлением.

Вы упомянули о практической пользе ВТСП. Чудесные свойства сверхпроводников известны уже давно, но после открытия ВТСП фантазия журналистов, да и физиков, разгулялась особенно буйно. Но какие к этому основания! В конце концов, рекордная

критическая температура составляет сейчас 162 К, т. е. минус 110 по Цельсию. Отсюда еще, казалось бы, очень далеко до «бытовой», комнатной сверхпроводимости!

Ну, не так далеко, как может показаться. После открытия Мюллера и Беднорца всем представлялось, что началась новая эра. А тогда было получено только немногим более 20 К — даже до азотных температур не добрались. Теперь же, когда мы имеем 162 К, всем уже комнатную температуру подавай. Так настроены даже люди, работающие в промышленности, в технике.

Должен отчитаться перед теми, кого интересуют технические приложения ВТСП: мы, ученые, свое дело сделали с некоторым запасом. Есть сверхпроводники, которые уже сегодня могут работать при температурах жидкого азота, а его можно получить много, целое море. Ведь одно из важнейших и быстродостижимых применений ВТСП лежит в области микроэлектроники. Уже разработаны сверхпроводящие переключатели, ячейки памяти. Они могут быть сделаны весьма миниатюрными. Наши институты и зарубежные фирмы занимались этим и до открытия ВТСП. Тогда все ориентировалось на дорогой жидкий гелий. Теперь же у этих разработок появилось, как говорят в спорте, второе дыхание. Жидкий азот гораздо более доступен и в сотню раз дешевле. Мы находимся на пороге создания элементов вычислительной техники, которая будет работать при температурах жидкого азота. Не сегодня-завтра человечество получит первые вычислительные машины на «теплых» сверхпроводниках. В этом направлении очень активно работают в Японии. Принципиальных препятствий сейчас уже не видно. Правда, остаются тяжелые технологические проблемы. Технология полупроводников имеет точный характер, она хорошо отработана. С ней надо совместить технологию сверхпроводников, но при этом возникают проблемы сопряжения по температуре, трудности с разными методами обработки. Ведь нужна будет единая технология, единый процесс изготовления интегральных схем с полупроводниковыми и со сверхпроводниковыми элементами. Конечно, над всеми этими проблемами уже работают технологи. Достигнуты и определенные успехи. Скажем, очень важен вопрос о величине тока, который может течь через сверхпроводник. Я говорил об эффекте Мейснера. Но вытесняется из сверхпроводника только достаточно слабое магнитное поле. Strong поле просто разрушает сверхпроводимость, и образец переходит в нормальное состояние. Когда по сверхпроводнику идет ток, то он создает



Фотография монокристалла высокотемпературного сверхпроводника $\text{NOBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$ в сканирующем электронном микроскопе.

магнитное поле. При определенной критической величине тока это поле разрушит сверхпроводимость: сверхпроводящий ток сам себя уничтожит. Так вот, сейчас созданы сверхпроводящие пленки, пропускающие без потери сверхпроводимости до миллиона ампер на квадратный сантиметр.

Иными словами, уже теперь можно делать переключатели, магнитометры и прочие устройства, работающие на жидком азоте, фактически создавать новую электронику. Сейчас мы живем по известной концепции, когда лучшее борется с хорошим. То, что мы имеем, уже хорошо, но нам этого мало. Мы надеемся на дальнейшее продвижение. За 2—3 месяца 1987 г. физики прошли большой путь, чем за 75 лет, истекших со дня открытия сверхпроводимости. Это обнадеживает. Конечно, хочется всего сразу. На другой день после открытия Мюллера и Беднорца хотелось иметь сверхпроводимость при комнатной температуре. А может, и лучше, что этого нет? Есть такая точка зрения, что слишком быстрый темп случайных достижений вреден для науки. Позади остается невспаханное поле, за которое никому не хочется браться. Сейчас у ученых есть время и необходимость для детальных исследований этого явления. А промышленность должна создать новые массовые технологии, совместимые с технологией полупроводниковых элементов. Спрашивается,

кто должен это делать? Технологи, материальведы, инженеры, но, конечно, в содружестве с учеными, которые, естественно, опытнее в сверхпроводимости. Мы должны это делать вместе, но можно констатировать, что наука полученные авансы уже оправдала и создала определенный «задел» для практики. Я не знаю, сколько времени будет длиться этот этап, который делает применение ВТСП реальностью. Все зависит от того, какие мы приложим усилия, с каким усердием станем работать, какова квалификация работников нашей промышленности. В общем, как аукнется, так и откликнется.

Вы говорили о применениях ВТСП в слаботочной технике. Но как обстоят дела в сильноточной электротехнике?

Здесь ученые своих обещаний еще не выполнили. Мы умеем получать образцы небольшого размера — пленки, обладающие очень хорошими характеристиками. Трудности возникают при попытках получения длинномерных образцов, кабелей и т. п. Материалы, с которыми мы вынуждены сейчас оперировать, очень хрупки. Их можно спекать, получая керамические образцы. Но при прокатке или волочении они рассыпаются в порошок. Сделать из них изделие — все равно, что изготовить проволоку из бетона. Я неоднократно употреблял это сравнение — оно очень близко к истине.

Я хочу подчеркнуть — задача не только в поиске сверхпроводящих материалов, но и в том, чтобы сделать их технологичными.

Технология на том и основана, что свойства материала зависят от способа его получения. Как говорят, эти свойства являются структурно чувствительными. Что прочнее: железо или алюминий? Хочется ответить, что железо? На самом деле вопрос поставлен некорректно. Можно сделать такой алюминий, который будет в десять раз прочнее иного железа. Поэтому я и отношусь к этим проблемам с оптимизмом. Если мы один раз набредем на путь, ведущий к стабильным, технологически удобным веществам, то потом сумеем улучшить производственный процесс, сделать его целесообразным и дешевым. Ведь и стоимость материалов не имеет априорного характера, а связана с уровнем технологии их производства. Если мы построим заводы с высокой производительностью и хорошим технологическим процессом, то на них все можно будет делать дешево. Но быть может, появятся новые технические решения. Ведь даже металлургия уже становится «лучевой». Классическая схема всем известна: засыпаем, разогреваем, расплавляем, обрабатываем расплав, охлаждаем и получаем сплав. А сейчас, создавая атомные пучки, стали укладывать атом к атому, получая таким образом систему, которую ранее приготавливали металлургическим путем. Почему же такого нельзя сделать со сверхпроводниками? Может, мы будем напылять магниты, делать спиральные витки, укладывая в нужном порядке атомы, а не спекать по старинке порошок, потом волочить заготовку и т. д. Пока мы идем именно этим испытанным путем, но, кто знает, может тот, фантастический, окажется более реальным и приемлемым? Все будет определяться экономическими и техническими факторами, взаимным их соответствием.

Но ведь до сих пор, насколько я знаю, не решена проблема стабильности новых сверхпроводящих материалов. А без этого невозможно их практическое применение.

Да, это очень серьезное обстоятельство. Мы работаем со сверхпроводниками, в структуре которых важнейшую роль играет кислород. Изменение содержания кислорода и упорядочение его ионов по определенным узлам кристаллической решетки рождает или убивает сверхпроводимость. Чтобы сверхпроводящее соединение было стабильно, его надо защитить от проникновения или утечки кислорода. Разработаны соответствующие технологические приемы. Например, придумана многожильная система, внутри которой помещается источник атомов кислорода, а снаружи — покрытие, пре-

дотвращающее его утечку в окружающую среду. Если что-то и вылетит, то кислород «подкачается» из сердцевины. Уже изготовлены кабели в сотни метров длины. Этим занимаются и за рубежом, и у нас — химики, материаловеды, технологи. Надо создать условия для жизни сверхпроводящих изделий, причем они должны быть не слишком тепличными. На мой взгляд, это вполне реально.

Уже сейчас некоторые вещества, особенно соединения с таллием, выглядят технологичнее первых образцов, на которых была обнаружена ВТСП. Правда, таллий — очень ядовитое вещество. При работе с ним нужно соблюдать большие предосторожности, хотя в ряде соединений этот элемент теряет свои ядовитые свойства. Сейчас накоплен большой опыт работы с таллием — в полупроводниковой технике он употребляется в больших количествах. Но следует подчеркнуть — не известно, что станет сверхпроводящим материалом будущего. Я почти уверен, что не редкоземельные соединения. Керамика — это пока полигон для исследований, на «плечах» которых мы сможем заглянуть дальше.

Многообразие потенциальных возможностей никого не должно пугать.

Юрий Андреевич, я хочу задать Вам свой любимый вопрос о роли фундаментальных исследований. Вы говорили о взаимодействии науки и практики на конкретном примере ВТСП. Нельзя ли, отталкиваясь от этого, сформулировать несколько более общие положения?

Сейчас на всех уровнях управления стало ясно, что без фундаментальной науки невозможно продвижение вперед техники. Это должно не только декларироваться, но и подтверждаться делами. К сожалению, многие привыкли считать, что в недрах нашего государства, у нашего мудрого народа есть неисчерпаемый источник талантов, откуда всегда можно зачерпнуть бесплатно все, что понадобится. Привыкли думать, что фундаментальная наука, ее достижения произрастают сами по себе, как трава в огороде, и что не надо ничего делать, чтобы ее поддерживать. Глубочайшее заблуждение. Фундаментальную науку надо поддерживать на всех ее уровнях, начиная с подготовки будущих ученых в школах и университетах. Надо отчислять на фундаментальную науку определенный процент национального дохода, точно так же, как на культуру, медицину и т. п. Недальновидно подходить к науке лишь с позиций хозрасчета, мгновенной практической отдачи.

Мне хотелось бы пояснить свою позицию, чтобы не создавалось впечатление, будто бы я ломлюсь в открытую дверь. У нас словом «наука» часто называют совсем разные вещи. Наука — в нашем конкретном разговоре я имею в виду естествознание — имеет своей целью познание законов природы. Когда они познаны, наступает очередь техники, задача которой — сделать результаты познания полезными людям в смысле практического использования. Здесь и начинают работать механизмы хозрасчета, самоокупаемости, наибольшей экономичности и т. п.

Есть и еще одно различие. В технике всегда более или менее ясны потребности общества, можно оценить, что сейчас важнее или экономичнее, можно сказать, что такая плохая машина нам не нужна и т. п. Но никто не может решать, нужны ли нам те или иные знания. Так просто нельзя ставить вопрос. Знания есть знания, а используются ли они на практике — это уже задача для техники. К сожалению, эти простые истины понимают далеко не все. Говоря о пользе науки, мы часто имеем в виду только совместные достижения науки и техники. Но нельзя забывать и о самой науке как таковой.

Как же поддерживаются, финансово и организационно, исследования по сверхпроводимости, важность которых, надо полагать, ни у кого не вызывает сомнений? Как быстро нам удалось включиться во всемирную «гонку» за достижениями по ВТСП?

Надо сказать, что во всем мире государственные органы разных стран создают стимулы для развития исследований по ВТСП. В США в обсуждении задач по ВТСП активно участвовал президент Рейган. Там было организовано большое совещание с его участием, на котором присутствовало около 2 тыс. ученых, инженеров, бизнесменов, юристов, государственных деятелей. Рассматривались национальные задачи США, направленные на сохранение лидерства в науке и технологии. Существует серьезная конкуренция, в частности, между США и Японией. Судя по доходам до нас сведениям, в Японии настойчиво и педантично продвигаются вперед и в науке и в технологии. Давно прошли времена, когда японцев считали прагматиками, скупающими лицензии. Сейчас они тратят на фундаментальные исследования больше всех в мире. Я имею в виду процент национального дохода.

У нас в стране программа исследований по ВТСП также пользуется вниманием

и поддержкой правительства. В Академии наук в первые же месяцы 1987 г. был создан специальный научный совет, координирующий национальную программу по ВТСП, сформулированы задачи, проведена подготовительная работа, определено финансирование проектов. Впервые в СССР научная программа осуществляется на основе конкурса проектов, причем деньги выделяются не ведомствам и даже не институтам, а непосредственным исполнителям. Заявки на проекты исследований были рассмотрены крупнейшими нашими специалистами с точки зрения и возможности осуществления, и квалификации участников проекта, и его научной и практической значимости. Такие конкурсы мы будем проводить не менее двух раз в год.

А как сказываются на научно-организационной работе условия гласности и перестройки?

Полагаю, что значение этой научной тематики было бы оценено и раньше. Но без перестройки стало бы немыслимым быстрое реагирование. Психология государственных органов и работающих там людей во многом изменилась. Быстро решаются вопросы, которые еще недавно казалось невозможным поставить. Мы получили право использовать любые новые формы организации научной работы. Например, наш совет может создавать временные научные коллективы в любой момент, когда они покажутся нам необходимыми, для этого не потребуются решения государственных органов. И наши права не ограничиваются академическими институтами. Мы — межведомственная организация.

Словом, сдвиги есть, но хотелось бы, чтобы они были еще ощутимее. Мы, например, боремся сейчас с внешнеторговыми организациями, которых перестройка почти не затронула. Контракты заключаются крайне долго. Мы сдаем необходимые бумаги, а они месяцами согласовываются, утрясаются, а может, просто в столе лежат. Нелепо полагать, будто это — сознательный саботаж. Это просто старая форма работы, когда чиновник никуда не спешит. Ему-то что, не сейчас подпишем контракт, так через год. Наши физики работают ночами, спят прямо в лабораториях (у нас там раскладушки стоят), а чиновник закрыл в конце рабочего дня кабинет и пошел домой. Но хотя бы на работе был порасторопнее! Ведь его медлительность обходится нам очень дорого. Мало того, что мы не получаем аппаратуру вовремя, мы ее иногда вообще не получаем. За рубежом считать умеют,

конъюнктуру знают и, видя, что нам что-то нужно, взвинчивают цены. Вчера мы бы прибор купили, а сегодня он нам уже не по карману. Правильно, спрос определяет цену. А чиновник в это время надувает щеки и говорит, что он сегодня занят. Освободится, а прибор уже раза в полтора дороже стоит. Кто за это ответит?

Известно, что материалы по ВТСП всегда требовали серьезного оформления при получении разрешения на публикацию. Произошли ли здесь какие-то изменения, позволяющие более оперативно информировать научную общественность о ходе исследований по ВТСП — ведь события развиваются очень быстро!

В общем, ситуация изменилась очень мало. Этот вопрос мы недавно обсуждали на нашем организационном совещании. Дело ясное. Вопросы секретности должны решаться разумно, рационально и приводить к выгоде государства. Я уже не говорю о том, что многие организации под покровом секретности прячут свою несостоятельность. Эта истина, к сожалению, уже стала тривиальной. Надо соразмерять несколько фактов: коммерческую тайну (задача которой — ошеломить конкурента на рынке), государственную тайну (связанную с военными секретами), соотношение убытка от несохранения коммерческой тайны и от потери престижа первооткрывателя. В этом плане показательна история с открытием висмутовых соединений. Сейчас нам известно, что впервые они были получены не в Японии, а в Западной Германии сотрудником, работающим в фирме. Фирма, однако, запретила публикацию. Ну и что? Через месяц это же сделали и опубликовали японцы. Фирма имеет нуль коммерческого результата и потерю престижа первооткрывателя, что могло бы ей принести доходы в других областях. Представьте себе, что IBM запретила бы Беднорцу и Мюллеру опубликовать их результаты. Нобелевскую премию получили бы сотрудники другой фирмы, а это очень престижно. За своих нобелевских лауреатов IBM неявным образом имеет громадный коммерческий успех. В таких делах должно учитываться все до малейшего фактора.

Кто же это должен делать? Видимо, нужны по-настоящему компетентные люди!

Тут есть два звена. Действительно, все «за» и «против» должны рассчитываться компетентными людьми. С другой стороны, к их мнению должны прислушиваться сотрудники аппарата. Они это делают далеко не всегда, ибо за необоснованные

запреты наказаний не полагается. В расквашивание бюрократической системы сейчас включились большие силы со стороны государственных и научных органов. Но зачастую ученым и руководителям науки и техники противостоят руководители учреждений и ведомств различного ранга. Идет борьба, и не всегда безуспешная: уступки со стороны бюрократической машины мы все-таки наблюдаем. Все беда в том, что бюрократы — это, как правило, люди недостаточно образованные и компетентные, занесенные порой на верхи нашей иерархии волею случая, а не в силу своих достоинств и квалификации.

Не сталкиваются ли наши ученые с аналогичными проблемами в процессе международного сотрудничества?

У нашего института широкие международные связи, в том числе с Лос-Аламосской национальной лабораторией, которая считается «святыней» оборонной техники США. Мы обмениваемся образцами, проверяем друг друга. Приходится слышать иногда, что американцы ничего интересного нам не показывают, скрывают свои лучшие результаты. Это не так. Просто всякий научный обмен должен быть двусторонним, наивно было бы думать иначе. Если фирма «Белл» не показывает всего фирме IBM, то почему она должна просто так демонстрировать все гостям из СССР? Тем не менее контакты развиваются. Я был в составе делегации, которая недавно побывала в сердце американской индустрии специального назначения, посетила все крупнейшие научные центры, познакомившись с их последними достижениями.

Что касается технологического сотрудничества, то оно всегда организуется с большим трудом даже внутри отдельной страны. Каждая фирма имеет свои секреты, отдельные учреждения и у нас в стране закрывают от других свои технологические новинки. Здесь должны быть разработаны юридические гарантии, системы патентования, авторских свидетельств. Кстати, в США этому придается большое значение. С японцами обычно сотрудничать труднее. Опыт истории показал, что они никогда не раскрывали своих технологических секретов, пока не осваивали массовое производство и не начали продавать готовые изделия. Но и они уже начали организовывать международный институт по ВТСП. Главное, что вопросы научного сотрудничества надо решать не только за столом переговоров, а ставить практически, в рабочем порядке. Основная его предпосылка — высокая квалификация

конкретных сотрудничающих людей с обеих сторон. Два специалиста всегда смогут договориться, найти взаимную пользу от сотрудничества друг с другом, и не надо только им мешать.

Относительная легкость воспроизведения открытия ВТСП, готовность к этому многих лабораторий создает впечатление, что это открытие могло быть совершено где угодно. Почему же все-таки не у нас? Как вообще мы смотримся на международной арене в этой области?

Не надо думать, что Мюллер и Беднорц открыли ВТСП случайно. С Мюллером я хорошо знаком, много раз бывал у него в лаборатории, а он приезжал к нам. Знаю, что много лет он целенаправленно занимался поиском новых сверхпроводников. Сказать, что они обнаружили ВТСП случайно, — все равно, что говорить про Твардовского, что он — народный поэт, ничего не читал, а писал стихи по наитию. На самом деле это был образованнейший человек нашего времени.

Теперь, что касается нас. Экспериментальных работ класса исследования Мюллера и Беднорца у нас до того времени не было. Сейчас широко известно, что соединения, подобные тем, в которых была обнаружена ВТСП, были у нас синтезированы около 10 лет назад. Но их никто не собирался исследовать на сверхпроводимость. Если бы та группа открыла ВТСП, то это было бы действительно счастливым случаем. Сверхпроводимостью она не занималась, а изучала эти соединения с точки зрения химии, совсем в иных целях. Их мысли были совсем в другом русле. К примеру, мы, физики, не проверяем ведь эти материалы с точки зрения их влияния на рост опухолей? Вдруг окажется, что все эти годы мы работали с веществами, тормозящими развитие злокачественных образований. Но можно ли нам поставить в упрек, что мы не проводим таких исследований? Так и химиков нельзя винить в том, что они не исследовали свои образцы на сверхпроводимость. Это не было их делом.

В чем мы всегда занимали передовые позиции, так это в области теории. Тут можно назвать многих ученых: Л. Д. Ландау, Н. Н. Боголюбов, В. Л. Гинзбург, А. А. Абрикосов, Л. П. Горьков, Г. М. Элиашберг и др. Говоря о лидерстве в теории, я имею в виду не только большую созидательную силу наших теоретиков — каждое из перечисленных имен прочно вошло в историю сверхпроводимости, но и их высочайшую квалификацию, способность быстрого критиче-

ского осмысления любой новой идеи, модели. Это чрезвычайно привлекает зарубежных исследователей, которые всячески ищут контактов с нашими учеными.

Советские ученые-экспериментаторы также внесли большой вклад в развитие науки о сверхпроводимости. Тут можно назвать имена Л. В. Шубникова, А. И. Шальникова, Ю. В. Шарвина и др. Но в этой области у нас имеются специфические трудности. Например, плохо обстоит дело с синтезом новых сверхпроводников. «Производительность» подобных исследований на Западе гораздо выше. Быть может, это связано с недостатком необходимого оборудования. Но у нас плохи дела и с аналитическим оборудованием. Мы вынуждены закупать за границей электронные микроскопы, спектрометры ядерного магнитного резонанса, электронные спектрометры, прецизионную рентгеновскую аппаратуру. Это — большой упрек нашим приборостроителям.

Сейчас мы должны сделать два рывка — создать производство аналитического оборудования и освоить промышленную технологию сверхпроводников. Такие задачи стоят перед советской промышленностью. Основной бич нашей промышленности: даже не в том, что мы чего-то не можем сделать. Гораздо хуже другое — что мы упорно продолжаем производить большое количество непроизводительного, низкокачественного оборудования. Нужна система экономических стимулов, при которой такое производство станет невыгодным. Пусть новая аппаратура будет сложнее в производстве, но зато доходнее для предприятия.

Но есть и технологические достижения, в которых мы лидируем. Сюда можно отнести упоминавшуюся технологию производства сверхпроводящих пленок, так необходимых для микроэлектроники.

К сожалению, вынужден констатировать не очень высокую с точки зрения сверхпроводимости квалификацию наших химиков и технологов. Они действуют на основе привычных им химических представлений, а надо поскорее осваивать язык физики сверхпроводимости, ее принципы поиска. Часть вины за это лежит на нас, физиках. По-видимому, нам нужны более тесные контакты. Недаром основные химические результаты, которые привели к расцвету физических исследований, выполнены в тех местах, где физики и химики работают вместе. В таких случаях порой не сразу и разберешься, кто физик, а кто — химик. Так, в фирмах IBM и «Белл» основные результаты можно отнести к химическим: поиски новых составов, способов обработки.

Но получены они людьми, хорошо знающими физику, работающими в соответствии с нашими представлениями. Нам надо активизировать огромную армию высококвалифицированных химиков, имеющуюся в Московском государственном университете, в институтах АН СССР.

Краткий ответ на ваш вопрос о том, как мы выглядим на международной арене в этой области науки, можно сформулировать следующим образом: очень хорошо в теории, прилично в физическом эксперименте, неважно в химическом синтезе, особенно в темпах получения новых веществ и введения их в обиход исследователей.

Юрий Андреевич, наша беседа подходит к концу, и хочется закончить ее на оптимистической ноте.

Думаю, что прошедшие два года дают нам для этого основания. Открыто весьма интересное физическое явление, сулящее громадные практические выгоды. Не решен пока главный вопрос — о реальных сверхпроводящих материалах будущего. Все развивается необычайно быстро, и наши оценки могут мгновенно измениться и в коли-

чественном, и в качественном отношении. Но я уверен, что ВТСП найдет практическую реализацию, причем не через десятилетия. Речь идет о годах.

Может показаться, что энтузиазм, охвативший физиков в первые месяцы после открытия ВТСП, угас. Это, конечно же, не так. Просто несколько изменилась наша психология — исчезло ощущение чуда — примерно так же, как это произошло в деле освоения космоса. Помните, какой сенсацией стал запуск первого спутника? Это было началом новой, космической эры. Потом был человек в космосе — тоже сенсация. Далее — высадка на Луну. А теперь пишут об экспедиции на Марс, и нет уже того чувства потрясения, как при полете Гагарина: на Марс — так на Марс, собираем чемоданы.

На мой взгляд, комнатная сверхпроводимость сопоставима с полетами на Марс. Потолок жидкого азота переиден, и людей уже ничем не удивить. А открытие Мюллера и Беднорца — это было как запуск первого спутника.

Впереди еще много интересной работы, и уже одно это — повод для оптимизма.

НОВОСТИ НАУКИ

Технология

Высокотемпературная сверхпроводимость в микроэлектронике

В лаборатории японской фирмы «Тосиба» разработана технология получения тонкопленочных сверхпроводников, являющаяся новым шагом на пути к сверхпроводящим микросхемам, которые, по мнению специалистов фирмы, обладают большим быстродействием и эффективностью, нежели традиционные полупроводниковые микросхемы.

В новом технологическом процессе на смесь иттрия, бария и меди направлялась струя кислорода с аргоном при температуре 560 °С. В результате на подложку напылялся слой соединения иттрия, бария, меди и кислорода толщиной 700 нм. Важная особенность метода — отсутствие отжига, который

обычно проводится при температурах около 900 °С и приводит к образованию «зерен» размером около 1 мкм, что резко ухудшает качество сверхпроводящей поверхности.

Поверхность образцов, полученных новым методом, близка по качеству к полупроводниковым, что делает их перспективными для создания будущих сверхпроводящих микросхем. Поскольку тонким сверхпроводящим пленкам присуща химическая неустойчивость (так, молекулы бария взаимодействуют с парами воды и воздуха), то для создания стабильной пленки ее покрывают слоем окиси серебра, который в контакте с пленкой также становится сверхпроводящим. Это так называемый эффект «близости (или соседства)», разгадка которого, как предполагают, может дать ключ к пониманию механизма высокотемпературной сверхпроводимости.

Используя новую технологию, сотрудники фирмы разработали электронное реле, состоящее из «сэндвича» — чередующихся слоев высокотемпературного сверхпроводника и свинца. Устройство основано на сверхпроводниковом туннельном эффекте, ведущем к резкому возрастанию электрического сопротивления «сэндвича» при достижении потоком электронов определенного уровня.

В будущем предполагается создать сверхпроводящее электронное реле с тремя выходами: оно должно обладать свойствами транзистора и быстродействием, превышающим быстродействие современных транзисторов.

Как считают японские специалисты, на создание подобной сверхпроводящей электронной микросхемы уйдет не менее 10 лет.

New Scientist. 1988. Vol. 119. № 1619. P. 49 (Великобритания).

В.А. Струнников

ТРЕТЬЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ



Владимир Александрович Струнников, академик, заведующий лабораторией цитогенетики развития и регуляции пола Института биологии развития им. Н. К. Кольцова АН СССР, руководитель генетических исследований на тутовом шелкопряде в Среднеазиатском научно-исследовательском институте шелководства и в Ташкентском государственном университете. Президент Всесоюзного общества генетиков и селекционеров им. Н. И. Вавилова. Лауреат Государственной премии СССР (1981), награжден золотой медалью им. И. И. Мечникова АН СССР (1981). Неоднократно публиковался в «Природе».

ГЕНЕТИКА изучает два противоположные, но воедино слитые явления органического мира: наследственность — передачу признаков следующему поколению и изменчивость — возникновение различий как между потомками и их родителями, так и между самими потомками. Закономерности наследования хорошо изучены. Показано, что в ДНК хромосом родителей записана почти вся генетическая информация, обеспечивающая развитие их потомков. Постоянно происходящие структурные изменения в ДНК, проявляющиеся в следующих поколениях в виде разнообразных и многочисленных мутаций, а также перекомбинация генов при размножении обуславливают огромное генетическое разнообразие особей, делают набор генов, или генотип, каждой особи размножающегося половым путем вида уникальным. Генотипическое разнообразие — это всего лишь одна, хотя и наиболее важная, причина наблюдаемой в природе изменчивости организмов по огромному числу признаков и свойств. Второй причиной изменчивости считается действие на организмы факторов внешней среды. Совокупность признаков и свойств организма, обусловленных генетически и действием внешней среды, называют **фенотипом**, а возникшую в результате этого изменчивость — **фенотипической**.

Действие внешней среды весьма разнообразно, и поэтому в процессе эволюции у живых существ выработалась генетически обусловленная способность при изменении условий обитания переключать развитие организма на путь, который приводит к возникновению популяций с признаками и свойствами, позволяющими им приспособиться именно к изменившимся условиям. Так как возможность перехода с одного пути развития на другой уже заложена в генотипе, а среда, не затрагивая генетическую информацию, лишь «переводит стрелку» на тот или иной путь, возникающие фенотипические изменения не передаются потомству. Правда, они могут повториться в следующем поколении, но только в одном случае — если генотип потомков будет точной копией родительского и потомки будут развиваться в тех же условиях, что и родители. Такого рода

ненаследственную изменчивость называют **модификационной**.

Уже на первых этапах развития генетики возник вопрос, как определить относительную долю участия генотипа и среды в становлении фенотипа? Казалось, ответ найти сравнительно легко: достаточно испытывать в опыте изогенную популяцию, т. е. группу генетически очень сходных, лучше идентичных индивидуумов, подобных, например, однопяцевым близнецам. Если в такой популяции проявится изменчивость, причиной ее будут именно факторы внешней среды. Такие эксперименты проводились много раз на самых разных видах растений и животных. Проводились наблюдения и за однопяцевыми близнецами человека. Изменчивость изогенных популяций была весьма высокой, что свидетельствовало, как считали, о существенной роли внешней среды. В результате фенотип стали определять как результат взаимодействия генотипа с внешней средой.

Точность этого определения была поколеблена опытами Н. В. Тимофеева-Ресовского: при постоянстве генотипа и внешней среды проявление мутантных признаков у отдельных особей дрозофилы все же сильно различалось¹. Позже Б. Л. Астауров в опытах по изменчивости билатерального признака — четырехкрылости — у дрозофилы обнаружил, что этот признак проявляется по-разному на левой и правой стороне тела, хотя, казалось бы, на них одинаково должны действовать внешние и внутренние условия². Астауров объяснил неполное и асимметричное проявление этого признака его самостоятельной изменчивостью, не сводимой ни к генотипу, ни к внешним условиям. Такое проявление признака он счел следствием случайностей формообразовательного процесса и указал, что вероятность такого рода изменчивости крайне ничтожна. «Нет сомнения, что в ходе эволюционного процесса естественный отбор постоянно работает в направлении повышения надежности и устойчивости процессов индивидуального развития, снижая уровень мешающих стабильной реализации фенотипа «онтогенетических шумов». Результатом неустанной деятельности естественного отбора является то, что устойчивость онтогенетических процессов и финальных состояний для каждого значения генотипа и среды весьма велика и их случайные отклонения от ожидаемого перспективного значения иногда исчезающе малы по абсолютной ве-

личине». И далее: «Можно быть уверенным, что естественный отбор работает против неустойчивости, стабилизируя нормы реакции живой системы на воздействие внешней среды»³.

Проблема случайной изменчивости, поднятая Б. Л. Астауровым, хотя и была важна для феногенетики, не привлекла внимания и не получила должного развития, так как из числа признаков, подвергающихся существенному действию случайных отклонений, исключались адаптивно значимые, да и не было метода, который позволял бы изучать изменчивость таких признаков (в частности, количественных признаков и жизнеспособности). Метод выявления случайной изменчивости по проявлению билатеральных признаков для этого не годился. Обычными методами изучения изменчивости в популяции тоже нельзя было достаточно точно определить, насколько различаются действия внешних условий на каждого члена популяции. Следовательно, нельзя было и вычленить долю индивидуальной изменчивости, обусловленную случайностями в формообразовательных процессах. Между тем знание закономерностей изменчивости адаптивно значимых признаков представляет не только научный, но и практический интерес, так как они в основном определяют продуктивность сельскохозяйственных животных и растений.

На протяжении более чем полувековой экспериментальной работы с тутовым шелкопрядом мы постоянно наблюдали все виды индивидуальной изменчивости в разных породах, в том числе в изогенных популяциях, разводимых в самых различных условиях. Сходное изменение всех членов популяции легко объяснялось влиянием меняющихся условий жизни, а вот возникновение значительной индивидуальной изменчивости в каждой популяции понять было трудно, поскольку все генетически идентичные особи развивались при одинаковых внешних факторах. Мы оказались перед дилеммой: или действие среды все же различно, или уровень изменчивости, не зависящий от генотипа и внешней среды, несравнимо более высок, чем считал Б. Л. Астауров. Невольно в воображении представали какие-то иные, довольно мощные внехромосомные факторы, действующие в самом организме.

Естественно, для проверки интуитивно возникших объяснений нужны были специальные исследования, и они были выполне-

¹ Тимофеев-Ресовский Н. В. Журн. эксперим. биол. Сер. А. 1925. Т. 1. № 3—4. С. 93—147.

² Астауров Б. Л. Там же. 1927. Т. 3. № 1—2. С. 1—61.

Астауров Б. Л. К итогам моей научной деятельности в области генетики. История биологических исследований. Вып. 6. М., 1978. С. 116—159.

ны¹. Результат этих исследований — новый взгляд на причины индивидуальной изменчивости. Об этом и пойдет речь в данной статье.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОИСКИ

Первое, что нужно было решить, — определить долю участия в индивидуальной изменчивости внешних факторов в прямом их понимании и внехромосомных факторов, действующих внутри организма независимо от первых. Обычно такого строгого разграничения в генетических работах не делают, а внешние и внутренние факторы объединяют под общим названием внешней среды, подразумевая совокупность всех негенетических факторов. Однако нам представлялось, что без вычленения действия чисто внутренних факторов нельзя составить представления об их природе и роли в изменчивости. Выявить действие внутренних внехромосомных факторов можно при следующих непереносимых условиях: при полной генетической однородности (изогенности) членов каждой изучаемой популяции и резких различиях между изогенными популяциями по генотипу и способу размножения, а также при максимально близких условиях внешней среды, действующих на всех членов популяции (почему это так, будет видно из последующего изложения). Выполнить эти условия далеко не просто, нужна довольно ухищренная методика и достойный экспериментальный объект, каким оказался тутовый шелкопряд.

Изогенные популяции, как правило, получают за счет длительного близкородственного скрещивания (инбридинга), которое приводит к высокой степени гомозиготности всех генов. Однако этот метод неточен. Дело в том, что инбредные линии характеризуются сильной угнетенностью развития и, несмотря на высокую гомозиготность, резко повышенной изменчивостью. Это нельзя объяснить только неодинаковым действием внешней среды на отдельных индивидуумов. Существуют и другие причины. Л. З. Кайданов показал, что в линиях дрозофилы, разводимых инбридингом несколько сот поколений подряд, постоянно возникают отрицательные, или полулетающие, гены в гетерозиготном состоянии². В каждом сле-

дующем поколении часть этих генов становится гомозиготной и, в зависимости от числа возникших полулетающих, развитие их носителей бывает в большей или меньшей степени угнетено. При этом показатели многих количественных признаков меняются. Значит, такая изменчивость фактически определяется генетическими факторами, а мы должны были это полностью исключить.

Добиться, чтобы в изогенных популяциях спонтанно возникающие полулетающие не переходили в гомозиготное состояние, удалось после того, как были разработаны искусственные методы размножения тутового шелкопряда: партеногенез, дающий однополое женское или мужское потомство, и андрогенез. Отмечу, что сами по себе некоторые искусственные способы размножения далеко не безвредны для потомства и использовать их для тонких опытов по изменчивости на других объектах следует с большой осторожностью. Что касается создания одинаковых условий для каждого члена популяции, то и эта задача не на всех объектах выполнима. Например, ее практически нельзя осуществить в опытах с растениями из-за того, что каждый растительный организм проводит всю жизнь на одном микроучастке, а разные участки могут отличаться плодородностью. Кроме того, у растений количественные показатели органов, например отдельных плодов, часто зависят от положения на растении, что еще больше повышает их изменчивость.

Этих недостатков лишен тутовый шелкопряд. Популяцию из 200 гусениц можно кормить на одной полке этажерки (0,5 м²) с одинаковыми по всей площади температурой, влажностью, освещенностью. Легко добиться и единообразия корма — достаточно тщательно перемешать листья шелковицы и давать их с большим избытком. Поистине трудно было найти более удобный объект для исследований.

ПРИЧИНА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ

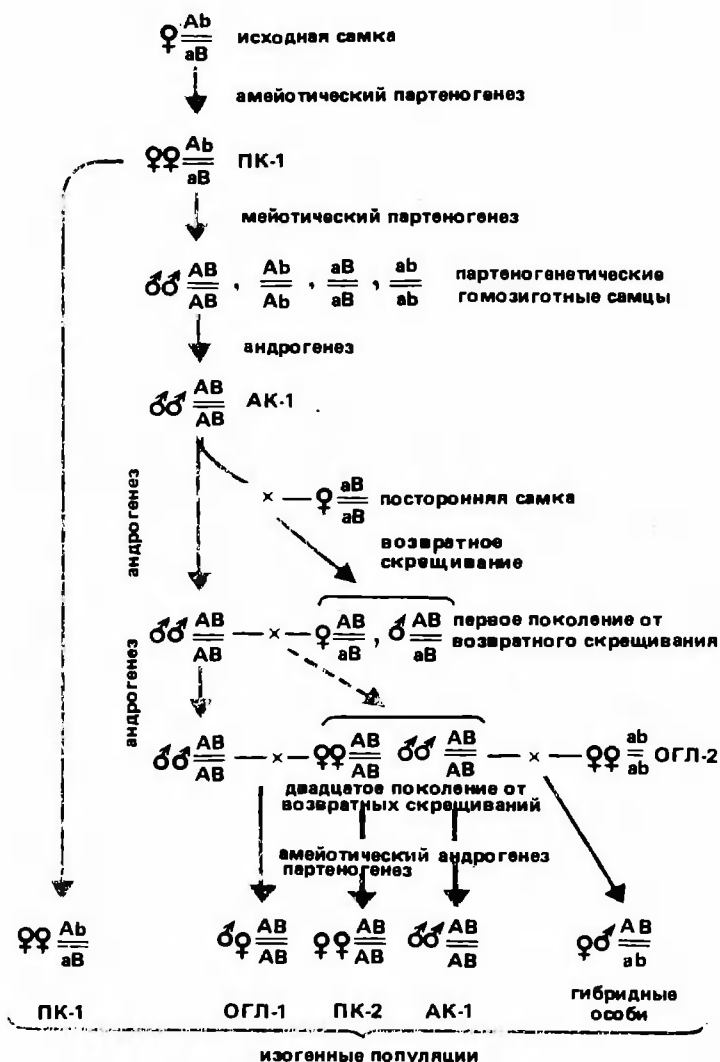
В экспериментах разных лет были найдены способы получения изогенных популяций и пять таких популяций мы использовали для опытов по изменчивости³.

Первая популяция представляла собой

¹ Струнников В. А., Вышинский И. М. // Журн. общ. биол. 1988. Т. 49, № 5. С. 642—652.

² Кайданов Л. З. // Там же. 1979. Т. 20. № 6. С. 834—849.

³ О различных способах получения потомства тутового шелкопряда см. подробнее: Струнников В. А. Получение и перспективы использования генетических копий тутового шелкопряда // Природа. 1982. № 1. С. 57—68.



Генетическая схема получения изогенных популяций на примере двух доминантных генов А и В и их рецессивных аллелей а и в.

Женский партеноклон (ПК-1), полностью повторяющий генотип матери, ведет свое начало от гетерозиготной гибридной самки. От этого клона мейотическим партеногенезом получают полностью гомозиготных самцов генотипа ААВВ, ААbb, aaВВ и aabb. Одного из них, например ААВВ, размножают андрогенезом и получают андрогенетический клон (АК-1), все потомки которого в ряду последовательных поколений повторяют генотип исходного гомозиготного самца. Возвратными скрещиваниями андрогенетических самцов их генотип полностью передается обоим полам гомозиготной линии [ОГЛ-1]. Самок этой линии превращают в гомозиготный женский партеногенетический клон (ПК-2), а самцов — в новый гомозиготный андрогенетический клон — полный двойник клона АК-1.

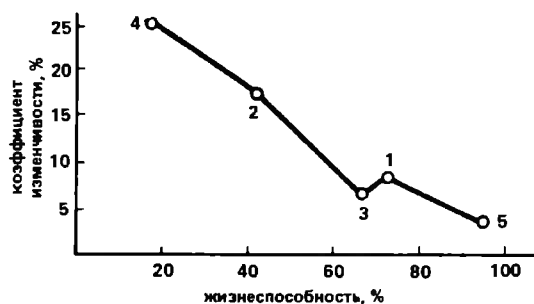
Скрещивая особей обоеполю гомозиготной линии с особями второй гомозиготной линии [ОГЛ-2], полученной так же, как первая, но происходящей от генетически иных родителей, создают обоеполю изогенный и гетерозиготный гибрид. В пяти полученных изогенных популяциях и изучалась изменчивость количественных признаков.

высокожизнеспособный партеногенетический клон (ПК-1), полученный посредством амеиотического партеногенеза от матери, гетерозиготной по многим генам. Потомство, состоящее лишь из самок, унаследовало гетерозиготность матери и другие ее качества и имело высокую жизнеспособность на стадии гусениц (74,9 %), низкие коэффициенты изменчивости массы кокона (7,4 %) и шелкопродуктивности (5,44 %).

Вторая популяция была андрогенетическим клоном № 1 (АК-1), выведенным от полностью гомозиготного самца, который был получен от ПК-1 с помощью мейотического партеногенеза. Так как при андрогенезе зародыш развивается из диплоидного

ядра, образуемого слиянием гаплоидных ядер двух сперматозоидов без участия ядра яйцеклетки, а все сперматозоиды гомозиготного самца генетически одинаковы, андрогенетические потомки (всех последовательных поколений) неизменно повторяют генотип прародителя. И он сам, и его потомки обычно имеют много полувзрослых в гомозиготном состоянии, поэтому жизнеспособность гусениц андроклона оказалась низкой (45,5 %), а коэффициент изменчивости массы кокона высоким (17,5 %).

Третьей популяцией была обоеполая гомозиготная линия № 1 (ОГЛ-1), выведенная путем возвратных скрещиваний⁷. Андрогенетического самца из второй популяции

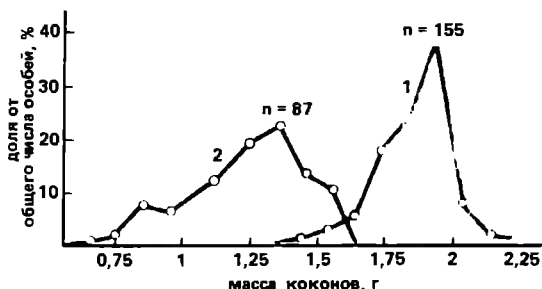


Изменчивость массы коконов в пяти изогенных популяциях различной жизнеспособности. 1 — партеногенетический гетерозиготный клон № 1; 2 — андрогенетический клон № 1; 3 — обоеполая гомозиготная линия № 1; 4 — партеногенетический гомозиготный клон № 2; 5 — изогенная популяция гетерозиготных гибридов.

каждый раз скрещивали с его генетическими дочерями — потомками предыдущего поколения. Несомненно, после 20 возвратных скрещиваний генотип андрогенетического родителя полностью передается особям обоеполой линии, и, таким образом, образовалась изогенная популяция. Хотя самцы этой популяции являются генетическими копиями самцов андрогенетического клона, жизнеспособность гусениц повысилась с 45,5 до 68,7%, коэффициент изменчивости массы кокона снизился до 6,83%, а шелконосности — до 5,73%.

Четвертая популяция, или женский партеноклон № 2 (ПК¹2), состояла из самок, также полученных путем амеиотического партеногенеза, но они вели свое начало не от обычной гетерозиготной самки, а от самок из обоеполой гомозиготной линии № 1. Несмотря на то, что в популяции полностью сохранился генотип исходной гомозиготной линии, жизнеспособность гусениц упала до 20%, а коэффициенты изменчивости массы кокона и шелконосности стали очень высокими — 25,4% и 31% соответственно.

Пятая популяция состояла из гибридных особей, которые были получены скрещиванием двух полностью гомозиготных обоеполых линий (их вывели тем же способом, что и третью популяцию). Эти гибриды уникальны, в природе они не возникают, и их трудно получить в эксперименте. Все особи являются генетически идентичными близнецами, или двойниками, но не похожи ни на одного из родителей. Для поставленных в эксперименте целей очень важно, что эта изогенная популяция



Изменчивость массы коконов партеногенетического клона № 1, выкормленного хорошим листом шелковицы весеннего сбора (1) и плохим — осеннего сбора (2). Левая часть обеих кривых более полого, чем правая, за счет появления мелких коконов, которые обычно завивают мало жизнеспособные гусеницы.

возникла от скрещивания генетически отдаленных родителей: так мы получили шелкопряда с высокой жизнеспособностью, или гетерозисом. Эта изогенная популяция получила максимум идеальных условий для полноценного развития, что вызвало резкое снижение индивидуальной изменчивости: при жизнеспособности, равной 95,2%, коэффициент изменчивости массы кокона снизился до 3,9%, а шелконосности — до 2%.

Необычайно низкие показатели изменчивости в изогенной гибридной популяции позволяют сделать два важных заключения.

1. Нет существенных различий в действии внешней среды на индивидуумов используемого в опыте изогенного гибрида тутового шелкопряда.

2. Более высокую изменчивость массы кокона и шелконосности в первых четырех изогенных популяциях в сравнении с пятой можно объяснить действием внутренних негенетических факторов организма, поскольку внешние условия для всех пяти популяций были одинаковыми.

Следует подчеркнуть, что даже наблюдаемую низкую изменчивость в гибридной популяции нельзя целиком объяснить различием в действии внешней среды на отдельных индивидуумов. Значительная доля изменчивости, надо полагать, также определяется внутренними факторами, действие которых в данном опыте еще не удалось вычлени.

К внутренним факторам, несомненно обуславливающим остаточную изменчивость в наших опытах, следует отнести качественную неравноценность яиц одной самки. Известно, что самые крупные яйца самка откладывает в первый день, из более мелких, отложенных позже, вылупляются менее жизнеспособные гусеницы, завиваю-

¹ Струнников В. А., Леженко С. С., Степанова Н. Л. // Генетика. 1983. Т. 19. № 1. С. 82—94.

щие коконы меньшего размера. Кроме того, вклад в изменчивость привносится еще и гибелью тутового шелкопряда на стадии куколки от заболевания, начавшегося гораздо раньше — на стадии гусеницы. При этом они до гибели успевают завить коконы, масса которых бывает невелика. Вызванные этими двумя причинами отклонения значений признаков у единичных индивидуумов от среднеарифметического существенно повышают изменчивость и придают кривой распределения незначительно асимметричный характер.

Можно с уверенностью утверждать, что, если в опытах использовать еще более гетерозисных и, следовательно, более жизнеспособных изогенных гибридов и выкармливать гусениц, вылупившихся только из яиц первой кладки, изменчивость станет совсем незначительной. И это подтвердит, что почти вся фенотипическая изменчивость изогенных популяций определяется не внешними, а внутренними факторами. Но уже и сейчас изменчивость изогенных гибридов достаточно низка, чтобы возникновение большей ее доли связать именно с внутренними факторами.

Дальнейший анализ результатов наших опытов показывает, что индивидуальная изменчивость зависит от жизнеспособности, которая, в свою очередь, обусловлена генотипом, способом размножения и экологией.

Значение генотипа для жизнеспособности не нуждается в доказательствах.

Зависимость же жизнеспособности от способа размножения хорошо демонстрируется результатами вариантов одного опыта. Если членов третьей популяции размножали нормальным половым путем, жизнеспособность потомства составляла 68,7 %, при андрогенетическом способе она снизилась до 45,5, а при партеногенетическом упала до 20 %. Отчетливо повысился коэффициент изменчивости массы кокона: от 6,83 % у нормальных потомков до 17,5 у андрогенетических и 25,4 у партеногенетических.

Для подтверждения связи между жизнеспособностью и экологией был проведен специальный опыт. Гусениц первой популяции выкармливали отличным, хорошим, средним и плохим листом шелковицы, другие же условия были практически одинаковы. В соответствии с понижением качества пищи масса кокона постепенно уменьшалась от 2,04 до 1,25 г (как известно, мелкие коконы завиваются маложизнеспособными гусеницами), а коэффициенты изменчивости массы кокона выросли с



Изменчивость массы коконов в партеногенетическом и гетерозиготном клонах в зависимости от качества листа шелковицы. 1 — отличное качество, 2 — хорошее, 3 — среднее, 4 — плохое. Со снижением качества пищи уменьшается средняя масса кокона и увеличивается коэффициент изменчивости.

6,93 до 17,32 %. Таким образом, за счет ухудшения условий разведения гусениц не только снизилась жизнеспособность и показатели количественных признаков, но и существенно повысилась изменчивость.

Помимо этого наши выводы подтвердились и по другим — нейтральным и адаптивно значимым признакам: частоте вылупления партеногенетических гусениц (коэффициент изменчивости 13,6 %), массе яиц (7,78 %), массе коконов (6,95 %), массе оболочки (8,55 %), яйценоскости, или отношению массы яиц к массе кокона (6,26 %), и шелконосности (4,3 %).

Поражает исключительно высокая изменчивость частоты вылупления партеногенетических гусениц (частота полного партеногенеза). Раньше причина этого объяснялась несовершенством техники активации яиц. Однако из наших опытов выяснилось, что частота полного партеногенеза тесно связана с жизнеспособностью, контролируемой генотипом. Наиболее успешен партеногенез у высокожизнеспособных межпопородных гибридов. Селекция на полный партеногенез приводит к повышению жизнеспособности, а селекция на жизнеспособность ведет к повышению частоты полного партеногенеза. Таким образом, изменчивость по вылуплению партеногенетических гусениц можно с большей долей достоверности рассматривать как изменчивость по потенциальной жизнеспособности.

Довольно высокие коэффициенты изменчивости адаптивно значимых признаков — яйценоскости, массы коконов, шелковой оболочки и яиц. Шелконосность — адаптивно менее значимый признак — изменяется меньше других из перечисленных. Следовательно, предположение Б. Л. Астаурова, что постоянно действующий естествен-

ный отбор работает против неустойчивости фенотипической реализации той части генотипа, которая контролирует адаптивно значимые признаки, не подтвердилось экспериментальными данными. Это коренным образом меняет эволюционное и прикладное значение модификационной изменчивости. Но прежде чем говорить об этом, попробуем понять природу индивидуальной изменчивости, для чего используем данные, которые свидетельствуют о зависимости между различными количественными признаками.

Оказалось, что если меняется один из признаков, определяющих пропорциональность всего организма (средняя масса кокона, шелковой оболочки и кладки яиц), то меняются и другие. Напротив, показатели функциональной деятельности органов (шелконосности, яйценоскости и частоты полного партеногенеза) меняются независимо как друг от друга, так и от массы кокона. Это свидетельствует об автономности развития органов, причастных к формированию перечисленных признаков, и наводит на мысль, что в данном случае фенотипическая изменчивость, как и в опытах Б. Л. Астаурова по изменчивости признака четырехкрылости, носит в значительной мере случайный характер.

Такой вывод подтвержден нами в опыте, в котором проверке подвергся один из билатеральных признаков — мы сравнивали частоту вылупления партеногенетических гусениц из яиц правой и левой сторон яичника каждой из 30 подопытных бабочек шелкопряда. Опыт состоял из двух вариантов: в первом определяли частоту вылупления партеногенетических гусениц из яиц левой и правой части яичников по отдельности, во втором — из полукладок (яйца одной бабочки смешивали, а затем делили на две равные части). В первом варианте коэффициент корреляции был низким (0,62), во втором — высоким (0,9). Такая высокая корреляция в первом варианте могла быть, если бы различий в развитии яиц из двух яичников одной самки не было бы.

МЕХАНИЗМ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ

Итак, основной вывод из наших исследований — обусловленность индивидуальной изменчивости количественных признаков и жизнеспособности в популяциях тутового шелкопряда в основном внутренними факторами. Какими бы они ни были, мы

должны прежде всего считаться с тем, что, как показывают наши опыты, они влияют на последовательные формообразовательные процессы онтогенеза, нарушая в большей или меньшей степени фенотипическую реализацию генотипа. Отклонения или ошибки в становлении фенотипа закономерны. Сама природа онтогенетических процессов не может обеспечить полную, или идеальную, реализацию генетической информации. Частота и степень этих отклонений настолько велики, что даже у индивидуумов, развивающихся при наименьшем числе онтогенетических отклонений, признаки не достигают потенциальных возможностей генотипа. Если бы отклонения вообще не возникали, при абсолютно оптимальных условиях жизни фенотипическая реализация генотипа была бы полной. О том, что лучшие фенотипы не достигают теоретически возможного максимума, заложенного в генотипе, свидетельствуют нормальные кривые распределения всех изученных нами признаков. Если бы генотип хотя бы части особей полностью реализовался при формировании какого-то признака, эта группа особей имела бы одинаково высокие показатели и кривая распределения носила бы четко выраженный асимметричный характер. В действительности значения изученных нами признаков образуют нормальную кривую распределения, лишь незначительно асимметричную.

Онтогенетические нарушения нельзя отнести, как считали прежде, к редким и неуправляемым событиям. Напротив, они массовы, затрагивают не только каждый организм, но и каждый орган, каждую функцию. Они носят вероятностный характер, т. е. возникновение каждой онтогенетической ошибки у индивидуума случайно. Общая частота таких случаев в популяции определяется статистическими закономерностями и, как установлено опытами, зависит от генотипа популяции, способа ее размножения и экологических условий. В основе этого явления лежит одна характерная особенность: чем больше действие фактора соответствует оптимуму развития, тем меньше возникает онтогенетических ошибок. Благодаря этому снижается вариабельность признаков и, что очень важно, возрастает среднее значение каждого из них. Все факторы тесно взаимодействуют, поэтому при увеличении их суммарного вклада изменчивость снижается (если действуют благоприятные факторы) или повышается (если действуют неблагоприятные факторы) в геометрической прогрессии. Так же меняется и частота онтогенетических нарушений.

Особенно наглядны эти изменения в опытах, связанных с партеногенетическим размножением ослабленных инбридингом особей. По сравнению с другими признаками наиболее интересна повышенная изменчивость жизнеспособности. Эту, на первый взгляд, неожиданность можно объяснить тем, что ошибки в формообразовании каждого из органов не только влияют на его функцию, но и во взаимодействии отрицательно сказываются на жизнеспособности всего организма.

Причины нарушений фенотипической реализации генотипа разнообразны, но пока еще исчерпывающе неизвестны.

Одним из существенных и не вызывающих сомнения факторов индивидуальной изменчивости считается неравенство условий эмбрионального развития. Так, у тутового шелкопряда яйца второго и последующих дней откладки (около 10 % от всех яиц) по сравнению с отложенными в первый день примерно на 10 % менее жизнеспособны, и вылупившиеся из них гусеницы завивают более мелкие коконы. Однако это лишь незначительно повышает индивидуальную изменчивость.

Нельзя исключить роль генотипических факторов. Например, становление фенотипа может нарушиться в результате различных соматических мутаций, особенно в тех случаях, когда они возникают на ранних стадиях эмбрионального развития и одновременно влияют как на формирование одного из признаков, так и на жизнеспособность. Близок к этому взгляд А. А. Нейфаха на возникновение новой наследственной модификации в ходе онтогенеза⁸.

Б. М. Медников выдвинул еще несколько гипотез о причинах онтогенетических нарушений, однако прямых доказательств их реальности не привел⁹. Одна из них — неравномерное распределение митохондрий (также несущих генетическую информацию) между разделившимися соматическими клетками. К возможному, если не генетическому, то близкому к нему влиянию на онтогенез С. Г. Инге-Вечтомова относит обратимые предмутационные изменения генов, в результате чего их функции меняются, но закодированная в них информация остается незатронутой¹⁰. По Д. К. Беляеву, сходное действие на онтогенез

оказывает наследуемая активация или инактивация одного или нескольких генов¹¹. Вероятно, наиболее справедливо предположение, что самая большая группа онтогенетических нарушений возникает в процессах белкового синтеза, а также при дифференцировке клеток органов.

Какова относительная роль перечисленных факторов? Ответа на этот вопрос пока нет, но знать его очень важно, чтобы управлять изменчивостью. Проведем моделирование совместного действия нескольких факторов. Допустим, что при формировании одного из органов может произойти 10 различных отклонений, причем каждое из них в заданных условиях возникает независимо. Крайне редко признак может сформироваться при всех 10 нарушениях или, напротив, при полном их отсутствии. Наиболее частое сочетание нарушений равно 5. У таких особей реализация признака совпадает со средним арифметическим его значением в популяции. Все это обуславливает автономность в степени проявления некоторых признаков, и поэтому каждый организм мозаичен по различной их выраженности. Многие онтогенетические нарушения, в свою очередь, в той или иной степени влияют на жизнеспособность и тем самым, по обратной связи, еще больше повышают частоту ошибок в формообразовательных процессах следующих стадий онтогенеза.

КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗМЕНЧИВОСТИ

Классификация изменчивости неоднократно критиковалась в научной литературе. Действительно, ее нельзя назвать исчерпывающе корректной. Традиционно изменчивость подразделяют на наследственную, или генотипическую, и ненаследственную, или модификационную. Различие между ними сводится к тому, что первой предшествуют определенные, в основном необратимые изменения в генетической информации клеток, дающих начало новому поколению (генные мутации, хромосомные перестройки); вторая же ни в коей мере не связана с генетическими изменениями и возникает под действием среды в процессе развития.

Наши данные о большой удельной доле в фенотипическом разнообразии индивидуальной изменчивости, которая не зависит от генотипа и внешней среды, позволяют выделить этот вид изменчивости из модификационной в самостоятельную

⁸ Нейфах А. А. // Онтогенез. 1985. Т. 16. № 1. С. 15—25.

⁹ Медников Б. М. // Усп. совр. биол. 1969. Т. 68. Вып. 3(6). С. 399—410.

¹⁰ Инге-Вечтомова С. Г. Влияние источника углевода и митохондриального генома на рибосомную супрессию в цитоплазме у дрожжей-сахаромикетов // Исследования по генетике. Вып. 10. Л., 1986. С. 60—65.

¹¹ Беляев Д. К., Рувицкий А. О., Трут Л. Н. // Генетика. 1979. Т. 15. № 11. С. 2033—2050.

третью группу. Так как она возникает в результате ошибок в процессе фенотипической реализации генотипа, мы сочли возможным назвать ее **реализационной изменчивостью**. Ее отличие от модификационной изменчивости состоит в следующем.

Модификационная изменчивость — явление, строго зависящее от вызвавшей ее внешней среды и в большинстве случаев имеет приспособительное, или адаптивное, значение. Она носит групповой характер, т. е. каждый признак, особенно адаптивно значимый, изменяется сходным образом у всех членов популяции, и поэтому показатели признаков хорошо коррелируют между собой. Пределы модификационной изменчивости ограничены (норма реакции), т. е. строго запрограммированы в генотипе. Однако это не означает, что признаки, возникшие в исключительно благоприятной внешней среде, аналогичны мутациям, как это представляли ламаркисты и лысенковцы, и проявляются у потомков в любых условиях. Такие благоприобретенные в онтогенезе признаки могут возникнуть в следующем поколении лишь при сохранении у потомков родительского генотипа и развитии в тех же условиях, в каких жили родители. Поэтому выбор на племя выдающихся индивидуумов, полученных под влиянием условий обитания, не приводит к адекватному улучшению потомства.

Реализационная изменчивость, вызванная несовершенством фенотипической реализации генотипа, носит, напротив, неопределенный, или вероятностный, и, как следствие, индивидуальный характер. Иными словами, различия проявляются в основном не между популяциями, а между отдельными ее членами. Поэтому у одного организма показатели варьирующих признаков мало связаны между собой. Для индивидуальной изменчивости характерно широко распространенное в органическом мире нормальное распределение особей популяции по показателям каждого количественного признака. Очень важная особенность реализационной изменчивости — ее повышение за счет исчезновения небольшого числа особей с крайне высокими показателями и появления многих особей с низкими показателями. В результате и кривая распределения, и средняя арифметическая смещаются в сторону меньших показателей. При генетической же и модификационной изменчивости показатели количественных признаков бывают как ниже, так и выше среднеарифметической, благодаря чему она не меняется.

Уровни реализационной изменчивости, выражаемые коэффициентами, хорошо коррелируют с жизнеспособностью, которая, в свою очередь, определяется генотипом, способом размножения и степенью отклонения среды от экологического оптимума. Приобретенные в онтогенезе показатели количественных признаков, обусловленные реализационной изменчивостью, в отличие от модификационной, никогда не воспроизводятся потомством даже в случае повторения генотипа и условий онтогенеза родителей.

Как видно, оба вида ненаследственной изменчивости имеют настолько большие и принципиальные различия, что объединять их по меньшей мере нелогично.

В наших опытах с помощью методических приемов вычленился почти в чистом виде эффект реализационной изменчивости. Разумеется, при обычных условиях разведения генетически разнообразных популяций общая фенотипическая изменчивость будет складываться из трех категорий изменчивости — генотипической, модификационной и реализационной. Определим в общих чертах вклад каждой из них в общую изменчивость.

Средние показатели любой гетерогенной популяции определяются в основном взаимодействием ее общего генотипа с внешней средой (модификационная изменчивость). Индивидуальная фенотипическая изменчивость в пределах каждой популяции обуславливается ее генетическим разнообразием и степенью отклонения фенотипической реализации генотипа каждого организма. Относительная их роль в общей фенотипической изменчивости зависит, с одной стороны, от степени гетерогенности популяции, с другой — от уровня реализационной изменчивости. При обычных генотипах и условиях жизни индивидуальные различия, судя по нашим опытам, определяются в большей мере реализационной изменчивостью, чем генотипическим разнообразием. Но индивидуальная изменчивость в популяциях целого ряда видов, в отличие от тутового шелкопряда, может усиливаться недостаточно выравненным действием внешней среды на отдельные особи в ходе онтогенеза.

НАУЧНОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ

Биологическая роль случайной (как ее ранее называли) изменчивости в построении организма до сих пор считалась незначи-

тельной. Более того, всплески этой изменчивости в природе относились к вредным и неукоснительно погашаемым естественным отбором. Но может ли быть, чтобы изменчивость, охватывающая не только всех членов любой популяции, но и все органы каждого из них, не имела бы важного приспособительного значения? Попытаемся определить эволюционное значение реализационной изменчивости, исходя из новых фактов.

И. И. Шмальгаузен выдвинул концепцию стабилизирующего отбора, роль которого заключается в поддержании признаков и свойств популяции на определенном уровне, соответствующем сложившимся условиям обитания. Нетрудно понять, что такой отбор не может стабилизировать самое адаптивно значимое свойство — жизнеспособность, так как неизбежно приведет к устранению маложизнеспособных и сохранению высокожизнеспособных особей и в результате — к постоянному и прогрессивному повышению жизнеспособности вида. А это, надо полагать, привело бы к тяжелым последствиям в природе. Обычно жизнеспособность видов в различных биоценозах поддерживается на определенном, примерно одинаковом уровне. Этого не может обеспечить стабилизирующий отбор (в данной И. И. Шмальгаузен трактовке), но способна реализационная изменчивость жизнеспособности, несравнимо более высокая относительно изменчивости других признаков. В результате прямого соответствия между фактической (фенотипической) жизнеспособностью и потенциальной (генотипической) не наблюдается. Естественный отбор по этому признаку становится малоэффективным, и, следовательно, жизнеспособность популяции и видов сохраняется на установившемся уровне. Так реализационная изменчивость выполняет роль стабилизатора жизнеспособности.

Высокая реализационная изменчивость жизнеспособности играет в эволюции и другую, не менее важную роль. Если популяция временно оказывается в неблагоприятных условиях обитания, она может сохраниться за счет выживания особей с высокой жизнеспособностью, в значительной мере обусловленной не генотипом, а наименьшим числом онтогенетических отклонений. Речь идет о многочисленных видах растений и некоторых животных, размножающихся амеиотическим партеногенезом, который, как известно, приводит к появлению полностью изогенного потомства. При установившейся средней жизнеспособности изогенная популяция всегда будет иметь часть

особей более высокой жизнеспособности, чем остальные ее члены.

Особенность реализационной изменчивости заставляет пересмотреть и природу некоторых до конца не вскрытых генетических явлений, например гетерозиса¹², который проявляется в виде повышенной жизнеспособности (адаптивного гетерозиса) и высоких показателей количественных признаков. Если адаптивный гетерозис можно объяснить доминированием одних аллелей над другими, то такое объяснение неприемлемо для гетерозиса по количественным признакам, так как они развиваются под контролем полимерных или совместно действующих генов. Иными словами, показатели признаков определяются суммарным действием генов, доставшихся потомкам от обоих родителей. Поэтому такие показатели должны быть равны средним арифметическим значениям родительских. Но у гетерозисных организмов показатели количественных признаков бывают и выше, чему не было дано объяснения. Гипотеза о зависимости гетерозиса от так называемого сверхдоминирования (положительного влияния на развитие гетерозиготного состояния генов) в последнее время вызывает все больше сомнений.

Теперь мы можем объяснить гетерозис с помощью реализационной изменчивости. Если такая изменчивость по количественным признакам увеличивается, то, как уже отмечалось, их среднеарифметические значения уменьшаются, и, наоборот, повысятся, если изменчивость снижается. Поэтому у высокожизнеспособных гибридов благодаря полной реализации генотипа повышается не только жизнеспособность, но и средние величины количественных признаков, а при близкородственных скрещиваниях они снижаются. Таким образом, в основе гетерозиса по количественным признакам нет прямых генетических механизмов, он опосредованно определяется адаптивным гетерозисом, или повышенной жизнеспособностью гибридов.

Реализационная изменчивость имеет и другое практическое значение. Если на основе модификационной изменчивости определяются только условия для нужного человеку фенотипического проявления ценных хозяйственных признаков, то реализационная изменчивость необходима для теории и практики самого селекционного процесса. Ведь от степени реализации генотипа

¹² Струнников В. А. Природа и проблемы гетерозиса // Природа. 1987. № 5. С. 64—76.

во многом зависит наследуемость признака. Чем полнее реализуется по какому-либо признаку генотип в фенотипе, тем больше вероятность повторения величины этого признака у потомков. Поэтому знание природы реализационной изменчивости окажется полезным для направленного создания селекционных популяций, в которых такая изменчивость менее выражена, а также для разработки метода, позволяющего отбирать на племя особей с высокой потенциальной способностью передавать свои выдающиеся признаки потомству. На тутовом шелкопряде уже давно подтверждены эти результаты.

В заключение отметим, что строгий анализ результатов изучения генетики человека, в частности медицинской генетики, также невозможен без учета реализационной изменчивости. Нужно иметь в виду, что каждая особь дважды участвует в биологической лотерее. Первый раз, когда получает случайный набор «хороших» и «плохих» генов, которые в различном соотношении даются родителями. Второй — в период развития организма, когда число онтогенетических отклонений вновь подчинено случайности. Правда, «онтогенетическая лотерея» не столь фатальна, как «генетическая»,

человек может повлиять на ее благоприятный исход. Теперь мы уже знаем — частота сбоев зависит не только от качества генотипа, но и определяется условиями онтогенеза, особенно его начальных стадий. Вероятно, огромный вред, причиняемый человеку загрязнением природы, в первую очередь связан с повышением реализационной изменчивости. В результате растет число индивидуумов, у которых или вообще ослаблено здоровье, или нарушены функции тех или иных органов.

Помимо устранения отрицательных факторов, влияющих на онтогенез, по-видимому, может оказаться весьма ценным применение различных химических и физических стимуляторов жизнеспособности, если они будут повышать степень реализации генотипа. Такие стимуляторы значительно повысили бы эффективность селекции и фенотипических опытов.

Специальные исследования в области биологии развития выявят многие факторы, как положительно, так и отрицательно влияющие на онтогенез. Свести до минимума случайные тошибки в онтогенезе столь же важно, как бороться с мутагенным действием среды обитания.

НОВОСТИ НАУКИ

Биотехнология

Ферментативный катализ в двуокиси углерода

Известно, что многие ферменты могут нормально функционировать в органических растворителях, содержащих следовые количества воды¹. В некоторых случаях ферментативный катализ в неводных растворах может быть даже более эффективным, чем в воде. Причина этого — в большей растворимости ряда химических соединений в неводных растворителях. Кроме того, в органическом растворителе кинетические и равновесные параметры реакции могут заметно измениться, что приведет к преобладанию продуктов не

прямой, а обратной реакции. Примером может служить гидролитическая реакция. В неводных растворителях из продуктов гидролиза может образоваться исходное вещество с выделением воды.

Т. Рандольф и сотрудники (Т. Randolph; Калифорнийский университет, Беркли, США) продемонстрировали, что ферментативный катализ можно проводить в сжатых под высоким давлением газах выше критической температуры. (Это температура, выше которой газ не может быть превращен в жидкость ни при каком давлении.) Растворителем служила двуокись углерода, которая инертна, негорюча, дешева и нетоксична. Ее критическая температура составляет 31,1 °C, что очень удобно для проведения ферментативной реакции. Белки нерастворимы в жидком CO₂, и поэтому реакцию проводят в гетерогенных условиях, при-

чем фермент после окончания реакции легко отделяется.

Использование CO₂ в качестве растворителя представляет особый интерес для ферментативной модификации стероидов, которые почти нерастворимы в воде. Так, холестерин при давлении 123 бар и температуре 308°K примерно в 50 раз лучше растворим в CO₂, чем в воде. Добавление небольших количеств некоторых веществ, например метанола, может привести еще к десятикратному увеличению растворимости. В жидком CO₂ была проведена (с выходом практически 100 %) реакция окисления холестерина молекулярным кислородом, катализируемая ферментом холестеролоксидазой. Продукт реакции представляет значительный интерес для фармацевтической промышленности.

Science. 1988. Vol. 239. № 4838. P. 387—390 (США).

¹ См., напр.: Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 1985. Vol. 82. P. 3192.

В.Н.Башкин

АГРОХИМИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА НА ЛАНДШАФТЫ



Владимир Николаевич Башкин, доктор биологических наук, заведующий лабораторией Института почвоведения и фотосинтеза АН СССР. Основные научные интересы связаны с оценкой биогеохимического круговорота элементов в агроландшафтах, исследованием отрицательных последствий интенсивного применения агрохимикатов.

В НАШЕМ столетии, когда население Земли начало стремительно расти, традиционное экстенсивное земледелие перестало удовлетворять потребности человечества. Для получения большего количества сельскохозяйственной продукции пришлось прибегать к помощи агрохимии. Все шире стали применять минеральные удобрения, поддерживающие почвенное плодородие, многочисленные средства защиты растений от вредителей, болезней и сорняков. Использование агрохимикатов позволило значительно увеличить урожай всех выращиваемых культур, однако в последние годы эта химическая помощь сельскому хозяйству оборачивается бедой и для природы, и для самого человека.

Избыточные количества агрохимикатов с полей, сливаясь с промышленными выбросами в воду и воздух, не только загрязняют окружающую среду, но и накапливаются в недопустимых количествах в продуктах питания и питьевой воде. Существует (и не только среди политиков, но и среди некоторых ученых) точка зрения, что экологический кризис все же лучше продовольственного, что ухудшение среды — необходимая плата человечества за повышение уровня жизни. Многие с такой позицией не согласны и считают, что следует вообще отказаться от применения синтетических агрохимикатов, внедрять экологически безвредные методы повышения урожайности и защиты растений, связанные с успехами генной инженерии и биотехнологии. Однако массовое их применение — дело неблизкого будущего. Сегодня себестоимость продукции при использовании только биологических приемов возрастает в 3—10 раз, и она становится недоступной для широкого круга покупателей. Такой подход не получил широкого распространения в развитых странах, маловероятно, что и мы воспользовались бы им в значительных масштабах.

В чем же выход? Нельзя ли улучшить экологическую обстановку уже сегодня, отказавшись от стремления получать максимальные урожаи? Всегда ли оправданы вносимые дозы удобрений и пестицидов? Как учесть свойства разных ландшафтов

накапливать химические соединения или, наоборот, способность этих ландшафтов к самоочищению? На эти нелегкие вопросы мы пытались ответить, изучая сельскохозяйственные ландшафты и агрохимическую нагрузку на них методами биогеохимии. Эти методы, включающие оценку роли живого вещества в геохимических процессах, были детально разработаны в трудах основоположника биогеохимии В. И. Вернадского. Традиционными объектами биогеохимии, как правило, являлись естественные ландшафты, для которых были получены закономерности поведения различных элементов, входящих в биологический круговорот (биофилов), количественно охарактеризованы циклы этих элементов в зависимости от вида растений и типа ландшафтов. Полученные закономерности, однако, невозможно автоматически перенести на сельскохозяйственные ландшафты, параметры которых в значительной степени изменены антропогенным воздействием, связанным прежде всего с применением агрохимикатов.

МОЩНЫЙ ГЕОХИМИЧЕСКИЙ ФАКТОР

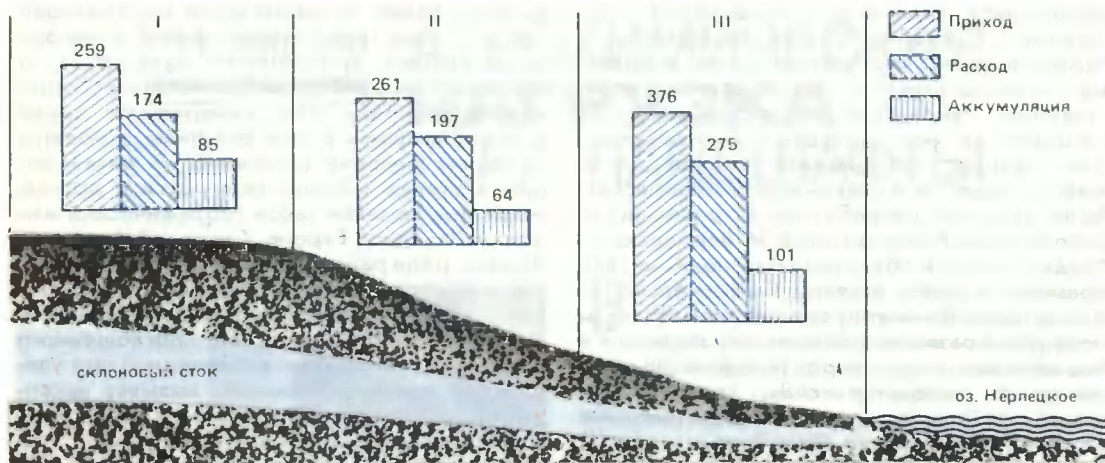
Минеральные удобрения и средства защиты растений (пестициды) становятся мощным фактором, меняющим природные циклы химических веществ, их миграцию и аккумуляцию. Действительно, в мире ежегодно вносят на поля 400—500 млн т минеральных удобрений, пестицидов, гипса и фосфоритов — так называемых мелиорантов, улучшающих состояние почв. Производство и применение только пестицидов достигает 2 млн т, а ежегодный их прирост — от 2 до 16 % в разных странах мира. В среднем нагрузка агрохимикатов составляет 30—60 кг/га в год, причем в развитых странах, где производится и будет, видимо, производиться большая часть необходимого человечеству продовольствия, эта величина в 5—10 раз больше. Данное положение усугубляется тем, что из имеющихся в мире 1,5 млрд га пашни ежегодно теряется (в основном в развивающихся странах) 15 млн га из-за эрозии и деградации почв. И еще несколько цифр. При среднем урожае зерновых культур в мире (21,5 ц/га) на 1 га пашни вносится 80 кг минеральных удобрений и 0,5—1 кг пестицидов, при урожае 40 ц/га требуется в два раза больше удобрений и пестицидов, при урожае 50 ц/га применение пестицидов возрастает в 8—10 раз, а удобрений — в 5—6 раз¹.

Таким образом, пока идет и в скором будущем будет идти непрерывный процесс

антропогенной полихимизации окружающей среды. Следствием этого является несомненный рост урожайности культур и, в гораздо большей степени, изменение состояния среды. При этом минеральное сырье и содержащиеся в нем биофилы вывозятся из одних районов (особенно из развивающихся стран) и концентрируются в других. Наиболее заметен такой геохимический импорт в Западной Европе, Северной Америке, Японии, ряде районов нашей страны и восточноевропейских стран. Коэффициенты же использования агрохимикатов (т. е. отношение количества вещества, поглощенного растениями, к общему внесенному) при увеличении доз резко падают, вызывая накопление их остатков в различных компонентах ландшафтов — почве, грунтовых и поверхностных водах и, что совсем уж немаловажно для здоровья человека, в растениеводческой и животноводческой продукции. Почти во всех почвенно-климатических зонах возникают агрохимические провинции, в которых повышается частота заболеваний человека и животных. Это — метгемоглобинемия, онкологические заболевания, мутации, отклонения от нормального развития плода и другие патологические изменения, вызванные избыточной аккумуляцией агрохимикатов в пище и воде. Из-за интенсивного применения азотных и фосфорных удобрений, а также агрогеохимически наиболее активных пестицидов и микроудобрений соединения почвенного гумуса быстро преобразуются в минеральные и в результате утрачивается плодородие почв.

Особенно опасно чрезмерное накопление растениями микроэлементов, потребляемых ими в нормальных условиях в значительных количествах. Явный недостаток цинка, марганца, молибдена, брома, меди и часто кобальта проявляется во влажных областях на легких песчаных почвах, что заставляет человека вносить их на поля. Но эти микроэлементы, как и все растворимые соединения, заметно аккумулируются в гидроморфных (влажных) почвах речных террас и дельт при испарении и транспирации протекающих грунтовых вод. Многие рассеянные элементы, включая и необходимые растениям — бром, марганец, железо, медь, цинк, молибден, йод, в высоких концентрациях токсичны не только для человека, но и для них самих. Кроме того, микроэлементы, как и пестициды, стимулируют

¹ Груздев Г. С. Химическая защита растений. М., 1987; Ковда В. А. Биогеохимия почвенного покрова. М., 1985.



Ландшафтно-агрогеохимический баланс азота в катене долины р. Оки, представленной серыми лесными и пойменными почвами. I — равнинный ландшафт, II — склоновый, III — пойменный. Основная статья в приходной части всех видов ландшафта — поступление азота с минеральными удобрениями, в расходной — денитрификация и вывоз с растениеводческой продукцией. Избыточное поступление азота составляет 64 — 101 кг/га, или около 30 % от суммы прихода азота в агроландшафт.

миграционную подвижность ряда других элементов.

Наиболее опасны среди всех агрохимикатов пестициды. При их разложении в почве, растениях и воде часто образуются еще более стойкие и токсичные метаболиты. Сами же пестициды обладают способностью накапливаться в любых живых организмах.

Даже в Мировом океане с его огромной массой и инерционностью зафиксировано локальное увеличение азота, фосфора, многих микроэлементов и пестицидов в прибрежных водах. В Европе это прежде всего относится к Балтийскому, Северному, Черному и Средиземному морям, в бассейнах которых применяют наибольшие количества агрохимикатов.

Таким образом, если естественные биогеохимические циклы биофилов были замкнуты в пределах того или иного ландшафта, что определялось ролью живого вещества в процессах миграции, то в результате интенсивного применения агрохимикатов эта сбалансированность нарушилась и циклы многих биофильных элементов стали незамкнутыми. Загрязнение окружающей среды, продуктов питания и питьевой воды — наиболее яркое проявление этой несбалансированности.

Соотношение расходных и приходных статей баланса биофилов зачастую изменяется в пользу последних, в различных агроландшафтах величины баланса становятся положительными. Количественная оценка

этих слагаемых агрогеохимического баланса весьма сложна, что связано со сложностью самого объекта изучения и огромным разнообразием сельскохозяйственных ландшафтов. И все же такие исследования ведутся и в нашей стране, и за рубежом. О них и пойдет речь.

БАЛАНС АЗОТА

Поскольку рассмотреть баланс всех химических элементов и даже одних биофилов было бы непосильной задачей, попробуем оценить ландшафтно-агрогеохимический баланс азота. Питательная и загрязняющая его роль проявляются особенно ярко. Во-первых, это важнейший элемент плодородия, дефицит которого характерен почти для всех почв, во-вторых, — загрязнитель, минеральные соединения которого (аммоний, нитраты и нитриты) накапливаются в воде и пищевых продуктах, в третьих — физиологически активное вещество, резко ускоряющее жизненные процессы организмов.

Мы изучали баланс азота для ландшафтов разных масштабов — от самого мелкого (элементарного) до занимающего целые континенты (глобального). Так, несколько лет проводились наблюдения за перераспределением азота на участке в верховьях Оки, представляющем собой несколько взаимосвязанных элементарных

Баланс азота (кг/га) в ландшафтах долины р. Оки

Составляющие баланса	Тип ландшафта		
	Равнинный	Склоновый	Пойменный
Приходная часть			
Минеральные удобрения	165	165	220
Органические удобрения	35	30	40
Семена	3	3	3
Биологическая фиксация	49	51	85
Сток с вышележащего ландшафта	—	5	21
Атмосферные осадки	7	7	7
Всего	259	261	376
Расходная часть			
Вывоз с растительной продукцией	97	105	120
Денитрификация	72	71	128
Сток в нижележащий ландшафт	5	21	27
Всего	174	197	275
Аккумуляция (антропогенная нагрузка)	85	64	101

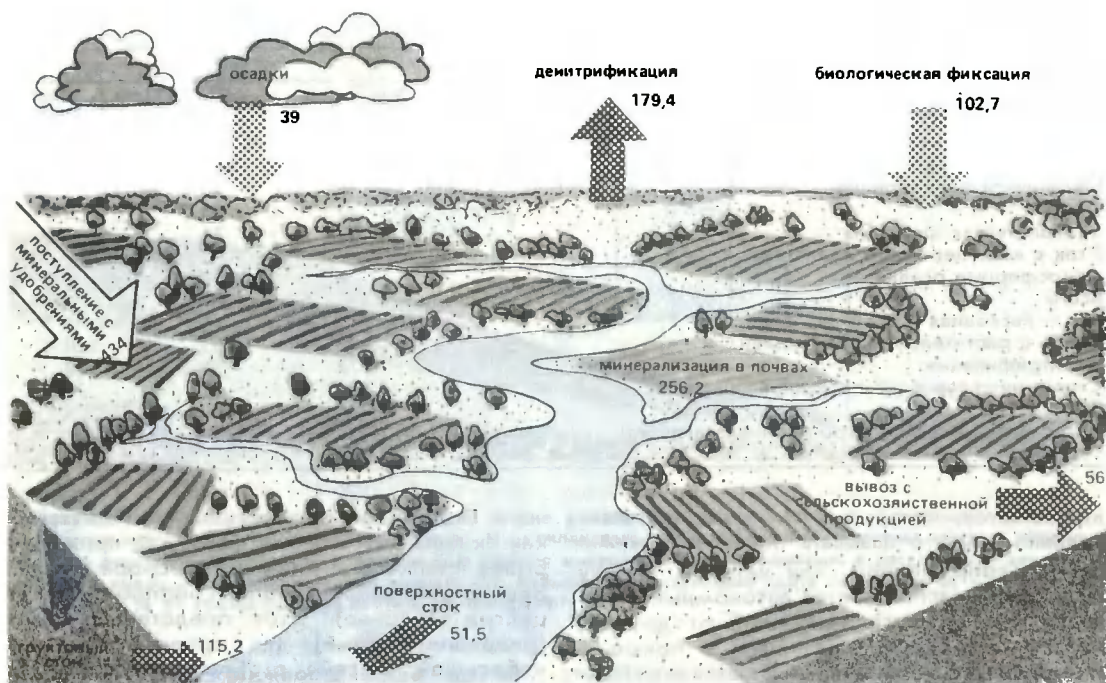
ландшафтов, которые в геохимии и почвоведении принято называть почвенно-геохимическим сопряжением, или катеной. Вверху на равнине располагается автономный ландшафт (менее всего зависящий от других), ниже — склоновый, еще ниже, в пойме, — пойменный, который примыкает к оз. Нерпечное. Не останавливаясь подробно на приходных и расходных статьях баланса всех этих ландшафтов (см. табл.), отметим только, что приход, большую часть которого составляет азот удобрений, не компенсируется расходом. В результате около 30 % от суммы прихода азота аккумулируется в ландшафте, становится загрязнителем и более всего в пойменном ландшафте, где к большому количеству вносимых удобрений (здесь выращивают овощные культуры) прибавляется азот, «стекающий» с верхних ландшафтов. Отсюда он попадает в озеро, вызывая усиление эвтрофикации. За 10 лет наблюдений (1976—1986) концентрация азота в нем увеличилась в 2 раза, озеро «зацвело»².

Похжие результаты получены для катены, расположенной на о. Хувентуд (Куба), где автору тоже приходилось работать. Здесь, в условиях тропического климата, для которого характерны ливневые осадки, более интенсивный внутрипочвенный и поверхностный сток, в пойменном ландшафте скапливается еще больше азота, поступающего с верхних участков, где применяют высокие дозы удобрений под цитрусовые культуры. (При этом коэффициенты их использования очень низки, для грейпфрута, например, менее 15 %.)

Подробнее хотелось бы рассказать, как складывается баланс азота, на примере более крупного участка — водосбора малой реки, расположенной вблизи биологического центра (Пушино). Этот представительный (репрезентативный) для средней полосы небольшой бассейн р. Городнянки имеет площадь водосбора 5,5 тыс. га. Около 50 % территории используют для выращивания зерновых (пшеница, ячмень, овес), овощных и кормовых (картофель, кукуруза, кормовая свекла) культур, а также однолетних и многолетних трав. Ежегодно на водосбор поступает 434 т азотных удобрений, в основном в виде аммиачной селитры, мочевины и ряда комплексных удобрений. В идеале такое же количество азота должно выводиться с сельскохозяйственной продукцией (без ущерба для ее качества). Тогда сохранился бы естественный баланс азота. Однако на деле значительная часть поступающего азота закрепляется в почве и стимулирует «работу» различных микроорганизмов, разлагающих органическое вещество почвы и превращающих его в минеральные соединения. Одновременно из-за избыточного накопления в почве минерального азота подавляется развитие микроорганизмов, поглощающих азот из воздуха; поступление азота в бассейн Городнянки за счет биологической фиксации азота 102,7 т/год. Около 39 т азота поступает с атмосферными осадками, причем эта величина постоянно возрастает из-за промышленного загрязнения воздуха соединениями азота. Суммарное поступление азота извне — 570 т, а с учетом минерализованного из органического вещества почвы, расположенных в бассейне, — 826,2 т/год.

Одновременно с поглощением азота

² Башкин В. Н. Агрогеохимия азота. Пушино, 1987. С. 184—207.



Агрогеохимический цикл азота в агроландшафтах бассейна р. Городнянки площадью 5500 га. Сумма прихода — 575,7 т/год, расхода — 286,9 т/год, аккумуляция в бассейне составляет 288,8 т/год или 50 % от суммы прихода.

из воздуха и его минерализацией из органического вещества почв микроорганизмы помогают азоту улетучиться в воздух — в почве идет процесс денитрификации, в результате которого теряется почти 180 т азота. Чуть меньшая статья расхода (115,7 т) — вымывание минерального азота в нитратной форме и поступление его в грунтовые воды. Здесь, постепенно накапливаясь, азот выпадает из круговорота, грунтовые воды становятся агрогеохимическим барьером. Это объясняется тем, что модуль стока грунтовых вод (т. е. количество воды, вытекающей с единицы площади в единицу времени) остается прежним, незначительно меняясь в агроландшафтах по сравнению с их естественным состоянием. Концентрация же различных соединений азота в этих водах постоянно возрастает, что приводит к увеличению накапливаемой массы азота. С поверхности почв 51,5 т смывается в водотоки и малые водохранилища (пруды), усиливая процессы эвтрофикации, видимые на поверхности благодаря буйному «цветению» воды. В естественных условиях эти процессы отсутствуют из-за перехвата незначительных количеств азота растениями и микроорганизмами в почвенном слое и малым его

промыыванием до грунтовых вод, а также малым смывом в поверхностные воды.

С сельскохозяйственной продукцией из бассейна выводится около 56 т азота. Другими словами, КПД азотных удобрений немногим более 10 %, а загрязняющие вещества содержат около 30 % азота, вносимого в почвы для повышения их урожайности. К этому следует добавить 180 т азота, улетучивающегося в воздух, который в свою очередь, видимо, оказывает разрушающее воздействие на озоновый слой Земли из-за реакции окиси азота с озоном в верхних слоях атмосферы.

Следовательно, суммарное количество азота, загрязняющего бассейн р. Городнянки, составляет 348 т/год, или 80 % величины, ежегодно вносимой с удобрениями. Из-за интенсивного применения удобрений содержание в грунтовых водах нитрат-иона, основного мигранта азота, в преобладающем числе случаев превысило установленный в СССР и мире уровень предельно допустимой концентрации (ПДК), составляющий 45 мг/л, и достигло 250—300 мг/л.

Следует отметить, что в других изучаемых водосборах малых рек, где дозы применяемых удобрений существенно

(в 3—5 раз) меньше, чем в бассейне р. Городнянки, превышение ПДК для содержания нитратов в грунтовых водах зафиксировано в значительно меньшем количестве случаев.

Крайне важно подчеркнуть, что почти во всей овощной продукции, поступающей в Москву из Серпуховского района, содержание нитратов превышает ПДК в 2—3, а в ряде случаев и более число раз³.

Аналогичная ситуация сложилась почти во всех агроландшафтах ЧССР, Кубы, а также в других развитых и развивающихся странах. В некоторых странах Европы питьевую воду, не содержащую нитратов, продают для кормящих матерей и младенцев в аптеках.

Аккумуляция азота в ландшафтах на региональном уровне зафиксирована при оценках баланса, выполненных в целом для территорий СССР, Дании, Великобритании и п-ова Флорида (США). Рост применения минеральных удобрений на территории нашей страны без адекватного роста урожайности сельскохозяйственных культур за 10 лет (1976—1985) привел к положительным величинам баланса азота (от 17 до 23 % суммы поступления), причем количество аккумулированного азота возросло в течении всего этого периода. В целом же ежегодный избыток накопленного в биосфере азота по приближенным подсчетам достиг уже 9 млн т⁴. Во всех случаях аккумуляция азота связана с избыточным применением удобрений в целях достижения максимальной биопродуктивности агроландшафтов и, следовательно, максимальных урожаев.

НА ПУТИ К ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНОМУ УРОЖАЮ

Как перейти от широко пропагандируемого лозунга «добиться максимального урожая» к оздоровлению среды, и в частности уменьшению агрохимической нагрузки на ландшафты? Вопрос этот достаточно сложен и вряд ли может быть решен только представителями естественных наук. Ведь, с одной стороны, в нашей стране еще существует целый ряд регионов, где урожайность очень низка из-за малого применения

удобрений, а с другой — даже в тех районах, где удобрений используют много, урожайность чаще всего невысока. Так, в уже знакомом бассейне Городнянки она составляет 30—35 ц/га для зерновых, 175—200 ц/га для картофеля и 450—500 ц/га для других овощных культур. Между тем при применении здесь количества удобрений эти значения должны составлять соответственно 45, 300 и 800 ц/га. Разница между максимальной и реальной урожайностью чаще всего результат бесхозяйственности во всех видах. Но бесхозяйственность не повод к необратимому загрязнению среды.

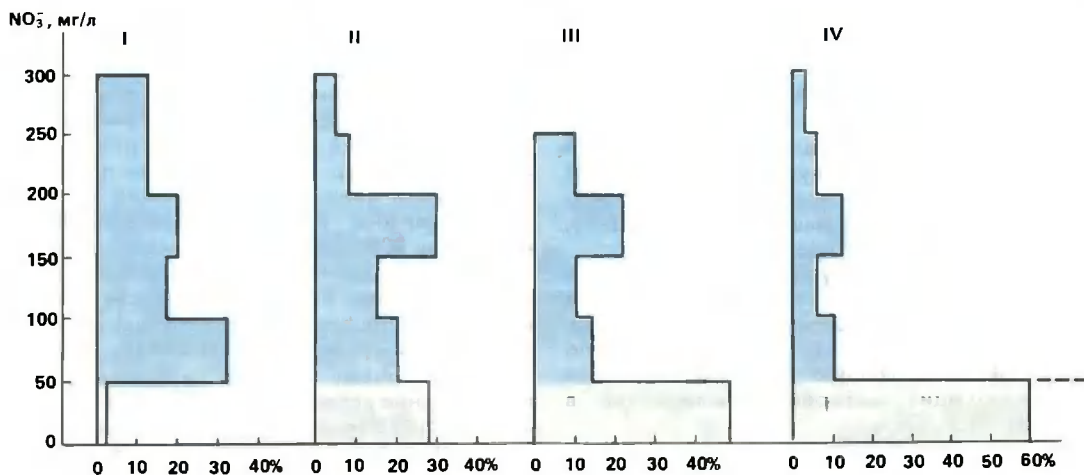
Вот почему в рамках складывающейся в последние годы новой ветви биогеохимии — агрогеохимии (биогеохимии агроландшафтов) мы начали искать подходы к разработке параметров экологически оптимальной биопродуктивности, т. е. такой продуктивности и урожайности, которая дает возможность получать необходимое количество сельскохозяйственной продукции и одновременно свести к минимуму загрязнение агрохимикатами. Критерии экологически оптимальной продуктивности разрабатывают и в других странах мира.

Учитывая, что сельскохозяйственное производство ныне является своеобразной и весьма сложной разновидностью биотехнологии, биотехнологичными должны быть и параметры экологически оптимальной биопродуктивности. Другими словами, в них необходимо «заложить» характер и направленность биологических и биогеохимических процессов, протекающих в данном агроландшафте. Только тогда агрохимикаты не только будут поставщиками недостающих питательных веществ или средствами защиты растений, но и станут выполнять функции физиологически активных веществ и стимуляторов.

В качестве примера стоит рассказать об определении экологически оптимальной биопродуктивности пойменного ландшафта при выращивании капусты (пойма Оки в пределах Серпуховского района). Учитывались количество доступного растениям почвенного азота, дозы азотных удобрений, концентрация NO_3^- в капусте и вымывание этого иона в грунтовые воды. В зависимости от количества вносимых удобрений урожай может составлять от 400 до 1300 ц/га, но с его ростом выше 800—900 ц/га наблюдается заметное увеличение содержание нитратов в капусте и вымывания NO_3^- в грунтовые воды. Значит, именно 800—900 ц/га можно считать экологически оптимальной урожайностью. Для ее достижения требуется 60—75 кг/га, т. е. в 3—4 раза меньше агро-

³ Никитишен В. И., Башкин В. Н., Соколов О. А., Семенов В. М. Приемы повышения эффективности азотных удобрений при возделывании с/х культур по интенсивной технологии. Методические рекомендации. Пушкино, 1987.

⁴ Башкин В. Н. Агрогеохимия азота. С. 204.



Степень загрязненности (%) грунтовых вод различных сельскохозяйственных регионов, расположенных на водосборах малых рек и различающихся по интенсивности применения азотных удобрений: I — р. Городнянка, Московская обл., серые лесные почвы, дозы азота 170 — 250 кг/га; II — р. Скинга, Тульская обл., серые лесные почвы, дозы азота 50 — 75 кг/га; III — р. Ицка, Орловская обл., выщелоченные черноземы, дозы азота 30 — 50 кг/га, IV — р. Созна, Калужская обл., дерново-подзолистые супесчаные почвы, дозы азота 30 — 50 кг/га. Избыточная аккумуляция азота в бассейнах, соответственно, 100, 57, 19, 3 кг/га. Цветом показана концентрация, превышающая ПДК (45 мг/л).

химикатов, чем для максимальной. Не требуется и дополнительных расходов на проведение природоохранных мероприятий. По нашим расчетам, экономический эффект при экологически оптимальной урожайности в этом ландшафте составляет 112 руб./га.

Величины экологически оптимальной урожайности, конечно же, зависят от типа агроландшафта и его исходных биогеохимических параметров, вида сельскохозяйственных культур и т. п. Но совершенно ясно, что их разработка и внедрение оправдано и экологически, и экономически. Заставить же производителей продукции отказаться от применения высоких и сверхвысоких доз

агрохимикатов и использовать их только в экологически обоснованных количествах можно с помощью продуманной системы экономических факторов (в том числе и существенных штрафов). На нынешнем этапе научно-технического прогресса этот путь снижения агрохимической нагрузки вполне реален.

Конечно, имеются и другие способы снижения агрохимической нагрузки на ландшафты — прежде всего, повышение урожайности за счет более эффективного использования солнечной энергии при фотосинтезе, благодаря успехам генной инженерии и т. п. Но это уже другая тема.

Малоазиатский ТРИТОН

А. А. Беляев,
кандидат биологических наук
Рига



Молодой тритон, вышедший на сушу.

Здесь и далее фото А. А. Беляева.

ТРИТОНЫ (*Triturus*), иначе называемые уколами, — это род хвостатых земноводных семейства саламандр. Из девяти видов тритонов в СССР встречается пять, причем три из них — карпатский (*T. montandoni*), альпийский (*T. alpestris*) и малоазиатский (*T. vittatus*) — включены в «Красную книгу СССР», а последний, кроме того, и в «Красную книгу МСОП».

Малоазиатский тритон, о котором пойдет речь, распространен на Западном Кавказе и в Малой Азии и везде малочислен. Ареал его в нашей стране невелик — лесная зона гор и

предгорий Западной Грузии (Абхазии, Аджарии), Краснодарского края и отдельных прилегающих районов — и представляет собой самую северную область мирового ареала.

Среди тритонов нет гигантов, в среднем длина их тела от кончика носа до кончика хвоста не более 15 см. Самки и самцы малоазиатского тритона малоприметны и внешне почти одинаковы, пока живут на суше. Но как только наступает репродуктивный период и тритоны переселяются в водоемы, окраска животных становится более яркой. По бокам тела и самцов, и самок проходит серебристая

полоса, окаймленная сверху и снизу темными линиями. Самец буквально становится неузнаваемым: на спине у него вырастает очень высокий зазубренный, прерывающийся у основания хвоста гребень; кожная оторочка хвоста, в другое время незаметная и небольшая, увеличивается и расцветает; окраска становится оливковой с золотистым оттенком, на всем теле появляется множество темных пятен.

О биологии малоазиатского тритона известно мало, в том числе и о его поведении в репродуктивный период. Автору этих строк приходилось изу-

чать именно этот период, важный в жизни каждого животного. Размножаются тритоны в медленно текущих ручьях или в стоячих заводях быстрых горных ручьев. Могут размножаться также в прудах и озерах со свежим притоком воды из мелких ручейков или донных источников. Начало размножения зависит от температуры воздуха и воды, поэтому на равнинах и в предгорьях оно приходится на февраль-март, в высокогорье — на май-июнь и продолжается обычно 1—2 месяца.

Каждый самец занимает в водоеме участок, причем индивидуальные владения различны: невелики (меньше 1 м²) в разливе небольшого ручья, и доходят до 4 м² в более крупных ручьях с быстрым течением. По-видимому, размер участка зависит от количества пищи в водоеме и числа убежищ — если их мало, владелец становится более агрессивным и занимает большую территорию. Овладев пространством, самец рьяно охраняет его границы от соседей. Стоит появиться незваному гостю, хозяин сначала пытается запугать его: приподнявшись на ногах, он становится боком к противнику, выгибает спину и наклоняется к нему. Если поза устрашения не возымела действия и не обратила противника в бегство, хозяин кидается в драку. Впрочем, бой может начаться и без предварительного запугивания. Вцепившись друг другу в хвост, лапу или даже голову, сражающиеся самцы образуют крутящийся клубок; на теле бойцов остаются кровоподтеки от укусов.

Мы наблюдали за самцами в аквариумах и заметили, что среди этих красавцев есть прирожденные драчуны: они нападают первыми и потому чаще выходят победителями из сражений. В стремительной атаке тритон наносит противнику удар, силу которого я ощутил даже через шест, когда прикрепленная к нему модель самца была опущена в территориальные воды одного из подопытных тритонов.

Бойцы иногда ведут себя довольно неожиданно: самец, не способный вырваться из



В таких ручейках размножается малоазиатский тритон.

«зубов» соперника, затихает, будто мертвый, и таким способом высвобождается. Бывает, что боевые действия агрессора «переадресовываются». Мы наблюдали однажды, как не успевший остыть от только что законченного боя самец малоазиатского тритона набросился на ни в чем не повинного самца другого вида.

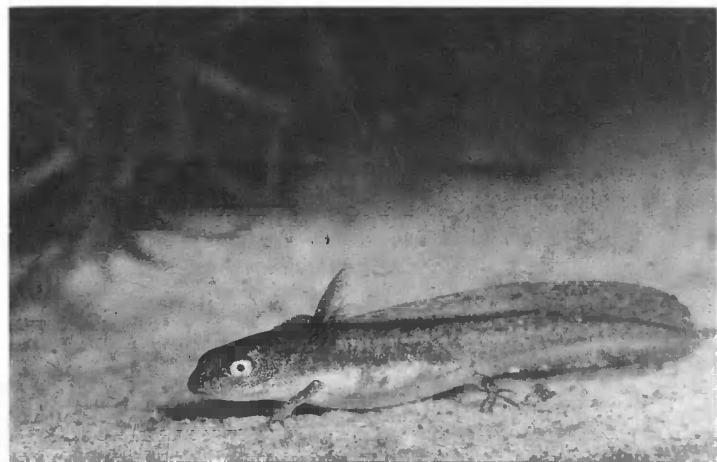
Защита территорий — редкое явление в семействе саламандр, среди тритонов малоазиатский — единственный вид, которому свойственно аг-

рессивное поведение. Почему это так — пока загадка, ответ должны дать дальнейшие исследования.

В отличие от самцов, самки свою подводную жизнь не связывают с определенной территорией, а беспрепятственно «прогуливаются» по владениям разных самцов. Как только на территории кого-либо из них появляется самка, хозяин начинает эффектный брачный танец. Приблизившись к ней, он изгибается так, что толчками гонит воду ей навстречу, и двигаясь



Брачный танец.



Личинка тритона.

вперед и, демонстрируя свой свадебный наряд, нередко он изгибается дугой и повисает в виде арки над головой самки. Вероятно, при столь интенсивном обольщении ему удается воздействовать одновременно через зрение, осязание и обоняние.

Если самка не отвергает ухаживаний, она движется навстречу избраннику, тот отходит в сторону, но самка не отступает и прикосновением к его хвосту дает сигнал к откладыванию сперматофора — капсулы, на-

полненной сперматозоидами. Сама же, проплывая над сперматофором, захватывает его клоакой, в ней и происходит оплодотворение. Такой своеобразный способ внутреннего оплодотворения через откладывание сперматофора характерен для всех тритонов. Оплодотворенные яйца самка откладывает на водные растения, на опавшие и затонувшие листья, прикрепляя особым образом каждое яйцо. Появившиеся из яиц личинки живут в воде и дышат наружными жабрами. Че-

рез 3—6 месяцев, а иногда лишь в следующем году личинки превращаются в молодых тритонов и выходят на сушу, где остаются до наступления половой зрелости. Зимуют тритоны в норах грызунов, под камнями и упавшими деревьями, под корой гнилых пней, в лесной подстилке.

На суше они питаются слизнями, дождевыми червями, пауками, насекомыми и другой мелкой живностью; в воде — мелкими рачками, моллюсками, водными насекомыми, икрой лягушек и даже мелкими головастиками.

Хотя малоазиатских тритонов разводят в лабораториях, биология их мало изучена. Видимо, поэтому и не разработаны специальные меры охраны. Правда, частными мерами, скорее всего, не обойтись. Жизнь тритонов связана с водоемами, а потому осушение земель и загрязнение водоемов приводят к массовой гибели столь редких земноводных. Из-за этого уже полностью исчезли некоторые популяции в окрестностях Тбилиси, вероятно, гибель ряда популяций в Ставропольском крае тоже результат человеческой деятельности. Гибельна для множества этих животных и для их будущего потомства даже случайность: из-под гусениц трактора вряд ли спасутся тритоны, если водитель изберет русло ручейка как дорогу. А нам пришлось видеть гусеничную колею в одном из ручейков, где мы вели наблюдения.

Какова общая численность малоазиатского тритона — неизвестно, но встречается он все реже, а охраняется в основном лишь только в Кавказском биосферном заповеднике. Не исключено, что этот вид может исчезнуть из фауны нашей страны раньше, чем специалисты смогут его изучить.

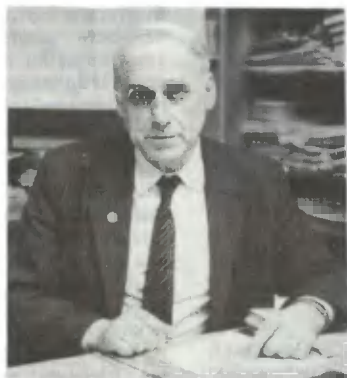
А. П. Лисицын

главные хранилища СУЛЬФИДНЫХ РУД на дне океана



Глубоководный аппарат «Мир» перед погружением на дно рифта Срединно-Атлантического хребта.

Фото А. П. Лисицына.



Александр Петрович Лисицын, член-корреспондент АН СССР, заведующий отделом Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР. Специалист в области геологии и геохимии океана. Руководитель многих экспедиций в Тихий, Атлантический и Индийский океаны. Автор ряда монографий, в том числе: Процессы океанской седиментации. М., 1978; Лавинная седиментация и перерывы в осадконакоплении в морях и океанах. М., 1988.

В ФЕВРАЛЕ 1988 г. экспедиция Института океанологии АН СССР на научно-исследовательском судне «Академик Мстислав Келдыш» вышла из Калининграда в Атлантику. Этот 15-й рейс был неординарным. На борту судна находились два новых обитаемых подводных аппарата «Мир-1» и «Мир-2», способных погружаться на глубину до 6 км¹. Впервые их предстояло использовать для научных исследований. Цель экспедиции была в основном геологической — предполагалось исследовать источники руд на дне океана, на одном из участков Срединно-Атлантического хребта.

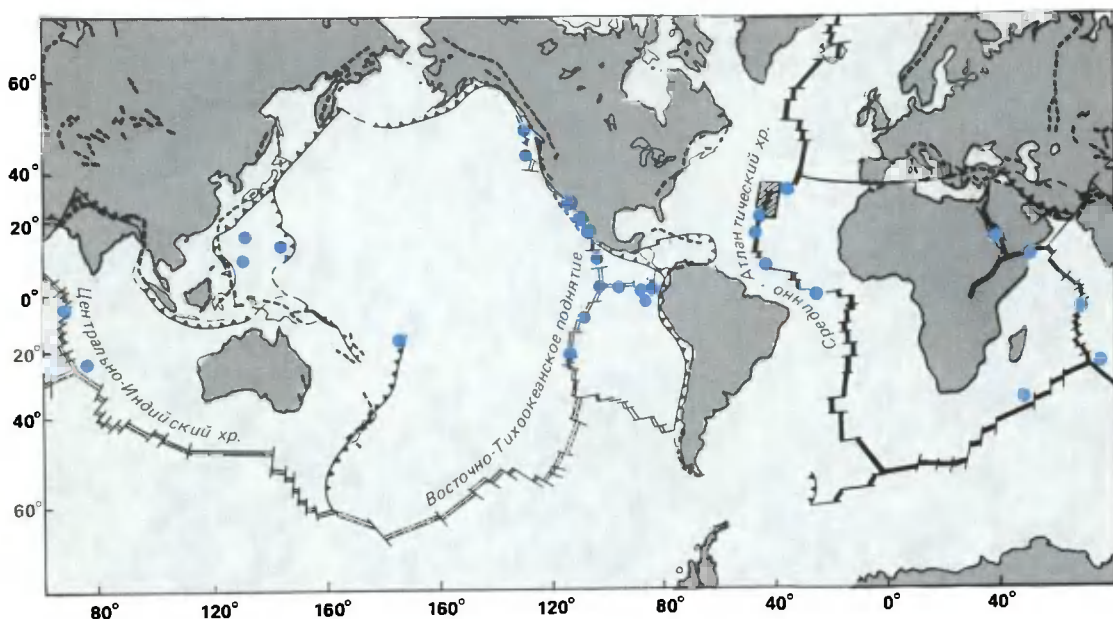
Около 15 лет назад установлено, что на дне океана в рифтовых долинах срединных хребтов, где океаническая кора растет за счет изливающихся горячих базальтов, распространены высокотемпературные (до 350 °С) источники, воды которых обогащены металлами и газами. С этими источниками, так называемыми гидротермами, связано современное рудообразование — накоп-

¹ Михальцев И. Е. Глубоководные обитаемые аппараты «Мир» // Природа. 1988. № 6. С. 38—39.



Активная гидротермальная постройка на полигоне ТАГ. Скопления креветок на сульфидных рудах. Глубина более 3 тыс. м.

Здесь и далее фото Ю. А. Володина



Срединные хребты со скоростью спрединга:

- менее 2 см/год
- более 2 см/год
- Зоны субдукции
- Трансформные разломы

- Офиолитовые пояса на континентах
- Гидротермальные источники
- Район исследований 1988 г.

Срединные хребты, границы литосферных плит и известные гидротермальные источники, примыкающие к зонам спрединга.

ление сульфидных руд и других рудных и нерудных минералов².

Еще до того как гидротермы увидели и сфотографировали, были обнаружены их косвенные признаки — широкие ореолы донных осадков, обогащенных металлами, приуроченные к срединным хребтам; увеличение в осадках концентрации ряда металлов группы железа и марганца по направлению к оси хребта; пространственное совпадение максимальной концентрации металлов с участками, где отмечались наиболее высокие значения теплового потока.

Донные осадки, содержащие более 10 % железа, были названы металлоносными. Представлялось, что они связаны с подводными извержениями базальтов и образуются в результате выщелачивания металлов из них при высоких температурах.

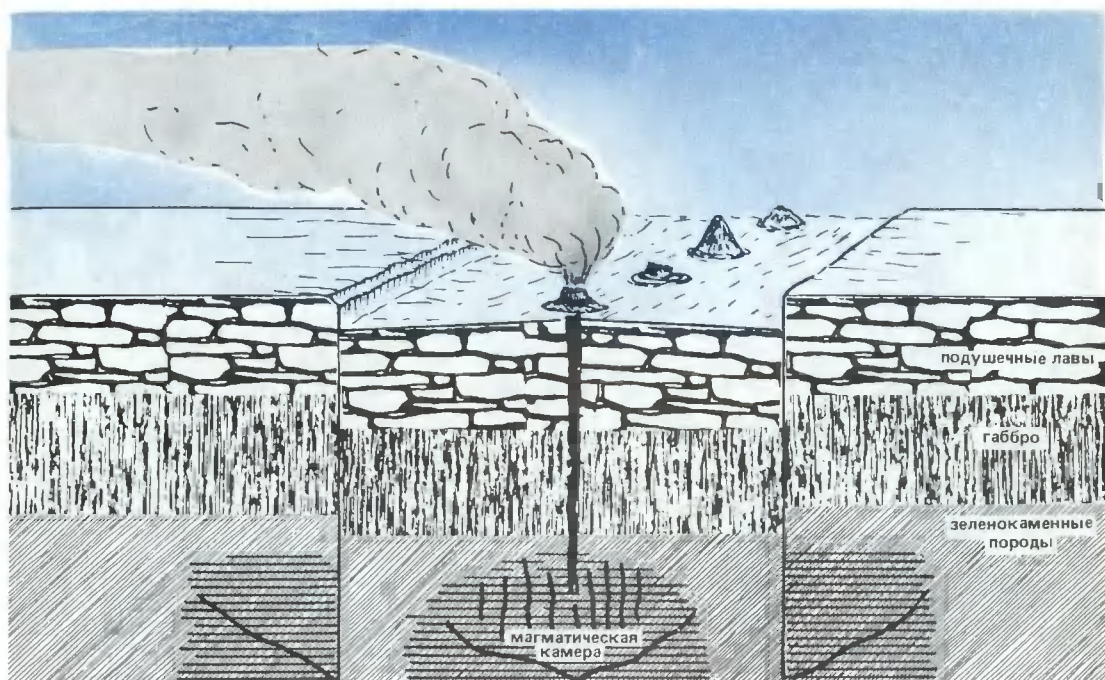
Эти процессы удалось воспроизвести и в лабораториях — при длительном нагревании базальтов с морской водой при высоком давлении. Оказалось, что при этом в воду переходят те же металлы (и в первую очередь железо), высокие концентрации которых обнаруживаются в металлоносных осадках.

Наконец, еще в 70-х годах советские геологи впервые получили прямое доказательство существования руд в срединных хребтах — драгами из рифтовых долин были подняты первые пробы сульфидных минералов.

Интерес морских геологов к рудным источникам на дне океана год от года рос. В начале 70-х годов советские экспедиции изучают металлоносные осадки на обширных площадях Тихого океана к югу от экватора. Со дна рифтовой впадины Хесса эти экспедиции поднимают гидротермальные образования, и в том числе сульфиды, а близ Галапагосского рифта обнаруживают «факал» с резким обогащением придонных вод железом, марганцем и медью.

В 1976 г. американские ученые ис-

² Батурич Г. Н. Сульфидные руды на дне океана // Природа. 1986. № 6. С. 98—105.



Гидротермальная система Срединно-Атлантического хребта. Из рассеченной трещинами магматической камеры, расположенной под рифтом срединного хребта, по каналу поднимается горячий гидротермальный раствор, обогащенный металлами и газами — продуктами выщелачивания базальтов. При их попадании в воду

образуется активная гидротермальная постройка высотой в несколько десятков метров с «черными и белыми курильщиками». На заднем плане — потухшие (неактивные) гидротермальные холмы возрастом более 10 тыс. лет. Их размеры нередко превышают современные.

следуют с обитаемого подводного аппарата «Алвин» корни этого факела и находят множество гидротерм (правда, низкотемпературных — до 17°C) на базальтовом дне и холмы из сульфидов 20—30-метровой высоты около источников.

В 1977—1978 гг. американцы и французы на подводных обитаемых аппаратах «Алвин» и «Сиана» впервые фотографируют и исследуют на Восточно-Тихоокеанском поднятии «черные курильщики» — источники с температурой до 350°C с причудливыми постройками из тех же сульфидов рядом.

В 80-х годах советские экспедиции с построенными к тому времени «Пайсисами» изучают металлоносные осадки Красного моря (проведено 22 погружения аппаратов), подводного хребта Рейкьянес, близ Исландии (20 погружений), а затем рифтовой зоны Аденского залива (34 погружения).

В 1986 г. наша экспедиция с «Пайсисами» работает в Тихом океане в рифтовых долинах хребта Хуан де Фука и Калифорнийского залива (148 погружений) и обнаруживает гидротермы с температу-

рой воды до 320°C и 50-метровые рудные башни, окутанные клубами черного дыма с удивительной жизнью на фоне окружающих пустынь дна.

Все исследованные до этого времени гидротермы находились на относительно небольших глубинах. Большая же часть срединных океанических хребтов погружена на 3,5 км, а рассекающие их разломы — до 5—6 км, т. е. глубины, недоступные ни для «Пайсиса», ни для «Сианы» и предельные для «Алвина» (4 км). Дальнейший успех исследований подводных рудных источников зависел от создания более глубоководных аппаратов. К 1987 г. был усовершенствован «Алвин», построены французский «Наутилус» и советские «Мир».

ПОЧЕМУ БЫЛ ВЫБРАН АТЛАНТИЧЕСКИЙ ОКЕАН?

Когда после успешных испытаний «Миров» в декабре 1987 г. возник вопрос о районе предстоящих исследований, не бы-



Зубцы из гидротермального ангидрита.

ло сомнений, что им станет участок срединного океанического хребта. Но в каком океане?

Протяженность глобальной системы срединных хребтов составляет около 80 тыс. км. Существуют хребты с низкой скоростью расширения (спрединга) — до 3—6 см/год, средней — 6—12 см/год и высокой до 18 см/год (в южной части Тихого океана).

На основе сопоставления данных, собранных до 1986 г. по всем океанам, получалось, что ширина зон металлоносных осадков и концентрация в них металлов зависит от скорости спрединга и больше там, где она выше. Именно на таких участках срединных хребтов должны быть

более всего распространены горячие гидротермы и рудные постройки из сульфидов с цинковой и медной «специализацией». И действительно, как уже упоминалось, они были обнаружены в Тихом океане. В Атлантическом и Индийском океанах на хребтах с медленным спредингом доминируют низкотемпературные процессы образования руд с преобладанием марганца и железа, которые не представляют большого экономического интереса. Эта рабочая гипотеза подтверждалась и первыми работами на срединном хребте в Атлантике по франко-американскому проекту «Фамоус» с применением подводных аппаратов «Алвин», «Архимед» и «Сиана», а

Выходы сульфидных руд, покрытые тонкой окисной коркой, в нижней части активной гидротермы.

Верхняя часть древней гидротермы с «черепичным» покрытием и криветками.





Внешний вид крупной потухшей гидротермальной постройки на полигоне ТАГ. Она имеет вид усеченного конуса с диаметром у основания около 200 м, высотой около 70 м. Постройка защищена от растворения в верхней части плитками и корками бернессита, в нижней — рыхлым нонтронитом.

также многолетними исследованиями на полигоне ТАГ — Транс-Атлантический геотраверс (26° с. ш.) Но события 1986 г. неожиданно ее опровергли. Американские исследователи с помощью «Алвина» почти одновременно обнаружили две высокотемпературные гидротермы и связанные с ними сульфиды в двух точках срединного хребта в Атлантическом океане: сначала на полигоне Снейк-Пит (23° с. ш.), а затем и на ТАГе.

На первом полигоне активная гидротерма с «черными курильщиками» и несколько гидротермальных холодных холмов занимают около 40 тыс. м². Температура воды в гидротермах достигает 330—350 °С. Одна из коротких скважин, пробуренных здесь через гидротермальные отложения холма, с борта «ДЖОЙДЕС Резолюшн», вскрыла слой сульфидных руд мощностью до 13 м.

Вторая находка была сделана на восточном склоне рифтовой долины ТАГа. Низкотемпературная гидротермальная деятельность ранее здесь детально изучалась американским геологом П. Рона. Ее и считали источником аномально высоких концентраций марганца, повышения температуры и понижения прозрачности придонных вод. Но оказалось, что в основном это результат работы другой активной гидротермы, имеющей вид конуса, над которым на 200—700 м возвышались дымы «черных и белых (с температурой не более 120°) курильщиков». Недалеко от этой

постройки были обнаружены и многочисленные древние рудные холмы.

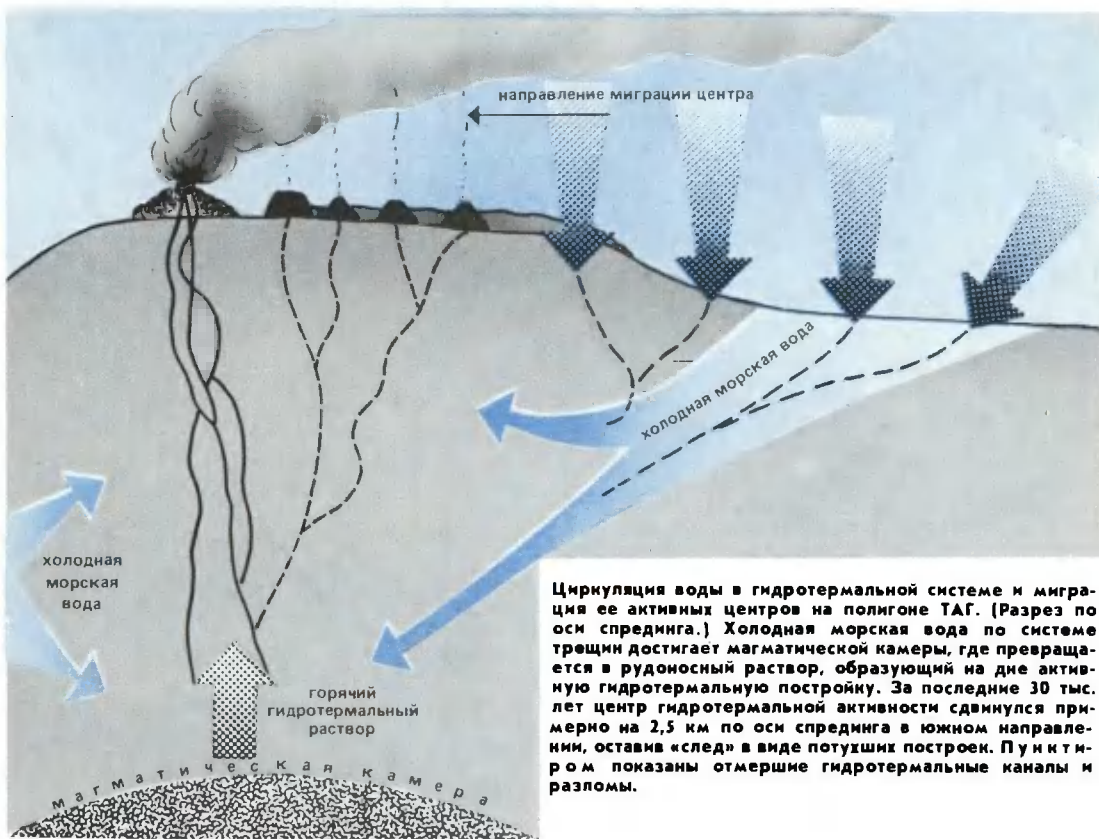
Итак, прямая связь гидротермальных процессов и оруденения со скоростью спрединга не подтверждалась. Вот почему «место крушения» этой гипотезы стало для нас особенно притягательным. К тому же исследования гидротерм здесь было неполным. Многие важные для понимания особенностей процесса данные вообще не определялись, неясным оставалось и геологическое строение этих участков.

Кроме горячих источников в этом районе Атлантики нас привлекали и древние, неактивные сейчас, гидротермальные постройки. Именно при их изучении мог быть решен целый ряд принципиальных вопросов. Первый из них — могут ли сульфидные постройки сохраняться в толще осадков тысячи и миллионы лет, а затем оказаться на континентах. Или же (так считали многие исследователи) сульфидные постройки эфемерны и после прекращения активной гидротермальной деятельности окисляются и разрушаются. В зависимости от решения этого вопроса должна строиться стратегия и тактика поисков гидротермальных руд на дне океана: искать только современные, но редкие источники или потухшие древние, которых (в случае их сохранности) должно быть в тысячи раз больше.

Была и еще одна причина, определившая район наших исследований именно на участке срединного хребта Атлантического океана: всего 2 гидротермы с «черными курильщиками», удаленные одна от другой по протяжению хребта на 500 км, на район с довольно скромными масштабами гидротермальной активности (по сравнению с Тихоокеанским хребтом) — идеальная область для опробования чувствительности методов поисков подводных гидротерм по различным аномалиям в водной толще, во взвеси и донных осадках.

КАК НАЙТИ ИСТОЧНИКИ РУДЫ НА ДНЕ ОКЕАНА?

Первый этап поисков действующих гидротерм и рудопроявлений на дне океана — это дистанционные геофизические исследования и эхолотный промер, которые ведутся по ходу судна с его борта. Их цель — выявить наиболее перспективные в тектоническом и геологическом отношении участки для дальнейших работ.



Циркуляция воды в гидротермальной системе и миграция ее активных центров на полигоне ТАГ. (Разрез по оси спрединга.) Холодная морская вода по системе трещин достигает магматической камеры, где превращается в рудоносный раствор, образующий на дне активную гидротермальную постройку. За последние 30 тыс. лет центр гидротермальной активности сдвинулся примерно на 2,5 км по оси спрединга в южном направлении, оставив «след» в виде потухших построек. Пунктиром показаны отмершие гидротермальные каналы и разломы.

Не нужно думать, что срединные хребты океанов — это сплошной огненный пояс на дне, по которому расположены гидротермы и рудные скопления. Нарастивание океанического дна происходит прерывисто в пространстве и во времени. Горячие базальты поступают в рифтовые долины хребтов не по какому-то одному разлому, расположенному по направлению хребта, а по системе отдельных небольших магматических камер. Их ширина не более 3 км, а длина — несколько десятков километров. Камеры разделены между собой «холодными» участками без магматической деятельности.

Чем выше скорость спрединга, тем чаще встречаются камеры и тем меньше протяженность холодных участков между ними. Камеры находятся на разных стадиях развития: на первой магматической стадии она заполняется базальтовой магмой, затем уровень лавы в камере снижается и в ней возникают провалы и многочисленные трещины. Камера становится проницаемой для морской воды, и наступает главная стадия

гидротермальной деятельности — образование высокотемпературных гидротерм и рудных образований. Вот почему изучение магматизма и тектоники, которые проявляются в рельефе поверхности базальтового дна в рифтовой зоне — обычно покрытого лишь ничтожным слоем осадков (или вообще не прикрытого), — первый этап поисков с помощью геолого-геофизических разрезов. В нашем рейсе мы сделали 11 таких разрезов, и только на двух были видны следы активных магматических камер, а следовательно, и благоприятных условий для формирования гидротерм.

Длительность гидротермального этапа для каждой из камер также невелика: по нашим определениям, она составляет 10—15 тыс. лет. После этого магматическое тело остывает, наступает сравнительно кратковременный заключительный этап образования низкотемпературных гидротерм, а затем гидротермальная активность затухает. Со временем на том же участке или рядом может возникнуть новая камера. Таким образом, дискретность магматических камер



«Черепичное» покрытие, защищающее древнюю сульфидную постройку от разрушения.

в пространстве (на современном этапе) дополняется еще и дискретностью во времени.

Для достаточно длительного геологического этапа дискретность как бы скрадывается и возникает впечатление, что наращивание океанической коры идет непрерывно по всему хребту, а не в отдельных его точках и в короткие промежутки времени.

Второй этап поисков — исследования физических и химических характеристик морской воды — сначала по редкой системе рекогносцировочных разрезов, которая постепенно сгущается по направлению к области выявленных аномалий. Наиболее представительны аномалии температуры воды (не превышающие $0,1^{\circ}\text{C}$, а чаще всего составляющие сотые и тысячные доли

градуса). В ряде случаев удается выявить также аномалии солености, плотности (горячая вода из гидротерм менее плотная), прозрачности вод, содержания металлов (в первую очередь марганца, железа, меди, цинка и др.) и газов (He^3 , CH_4 , O_2 , H_2S , CO , H_2 , N).

Все предварительные поиски объектов исследования обычно занимают намного больше времени, чем само погружение подводного аппарата, которое длится 12—17 ч, и во многом определяют его успех. Видимость из иллюминатора аппарата — всего 10—15 м, и ему нужна точная наводка на цель, удаленную от судна почти 4-километровой толщей воды.

Выходы сульфидных руд на древней постройке со следами растворения и тонким (около 1 см) защитным слоем из гидроокислов железа.

Рой креветок в дымах «черного курильщика». Слева — выходы гидротермального ангидрита и окисленной сульфидной руды.



«МИРЫ» НА ПОЛИГОНЕ ТАГ

В нашем рейсе за 40 сут «Миры» погружались в рифтовой зоне Срединно-Атлантического хребта 16 раз. На погружение и всплытие (при глубине 4—5 км) уходило 5—6 ч и примерно столько же на работу у дна. За одно погружение аппарат проходил у дна 3—5 км, при этом экипаж фотографировал и картировал дно, отбирал образцы. 11 погружений пришлось на полигон ТАГ, остальные на Снейк-Пит и три других полигона, расположенных на участке хребта от 23 до 26° с. ш.

Дно рифта — довольно унылая картина. Это царство базальтовых осыпей и лавовых потоков с многочисленными трещинами и уступами. Гребень срединного хребта погружен здесь на глубину около 3,7 км. Примечательна малая интенсивность подводного вулканизма, который приурочен не к основному осевому разлому, а ко всему хребту. По отобранным колонкам донных осадков, толщина которых обычно не превышает несколько десятков сантиметров, определен возраст базальтового ложа рифта на полигоне ТАГ. Оно образовалось 30—20 тыс. лет назад, осыпи же начали формироваться около 15 тыс. лет назад.

Для рифта ТАГ типична высокая сейсмическая активность. Донные сейсмические станции фиксируют здесь сильные толчки, приводящие в движение осыпи, несколько раз в сутки. При таком встряхивании из осыпей поднимаются мелкие частички, осаждающиеся по краям гигантских каменных «рек» и образующие настоящие «сугробы» высотой до 1 м. Еще один продукт встряхивания — вулканические стекла, возникающие при дроблении корок закаливания на базальтовых обломках.

Удалось детально изучить динамику выбросов активной гидротермы ТАГ — так называемого факела. Оказалось, что главная область его распространения — не придонный слой, как можно было бы предположить, а слой скачка плотности воды в нескольких сотнях метров ото дна. Достигая его, вершина факела растекается по нему, вытягиваясь в направлении течения. А поскольку оно быстро меняется в зависимости от приливов и отливов, факел за сутки описывает круг с центром в точке гидротермы. Положение факела определялось по росту мутности воды и незначительным изменениям температуры. Фиксировались и аномалии

содержания марганца и железа, а также газов.

Активную гидротермальную постройку обнаружили не сразу. Ее диаметр — около 200 м, и на глубине 4 км — это точка, в которую нелегко попасть из-за значительных течений в толще вод и малой видимости из аппарата.

Метр за метром «Миры» обследовали чудовищные нагромождения глыб, сорвавшихся с крутых боковых стенок рифта высотой до 2 км. В восточной стенке под базальтовыми лавами удалось обнаружить выходы глубинных слоев коры — дайковый комплекс и габбро, а в другом месте — даже ультраосновные породы. Все это свидетельствует о сильных вертикальных движениях в рифте, которых ранее не отмечали. Считалось, что главную роль здесь играют движения горизонтальные — спрединг.

Наконец, недалеко от основания восточного склона рифта показалась конусовидная постройка активной гидротермы, резко выделяющаяся на фоне черных базальтов яркой окраской. Крутые склоны ее основания покрыты в основном красной и оранжевой охрой, а почти вертикальные участки — черными или красно-бурыми рудами. Здесь же нашли и ярко-зеленый медный минерал, по составу близкий к атакмиту.

Высота крутых уступов цоколя гидротермального холма составляет около 30 м. Это древний фундамент постройки из сульфидов (марказита и сфалерита), сверху прикрытых продуктами выветривания, без следов современной гидротермальной деятельности. На нем на 10—15 м возвышается действующая часть постройки с диаметром у основания около 30 м. Рядом с основанием — гидротермальный песок из зерен сульфидных минералов и легко растворимого ангидрита, из которого сложенные возвышающиеся здесь же белоснежные «башни» и зубчатые стенки, напоминающие кремлевские.

Вершина постройки увенчана «трубами» — рудными столбами высотой 5—10 м и диаметром до 5 м. Из них вырываются клубы черного дыма. Это и есть «черные курильщики» с температурой около 300 °С. Но гидротермальная активность начинает проявляться значительно ниже — там, где изливаются теплые прозрачные «муаровые» воды, а еще чаще выходят серые и черные дымы.

Концентрация дыма «черных курильщиков» такова, что даже прожекторы мощностью около 1 кВт не в состоянии разор-

вать тьму. Аппарат трижды заходил в эти черные облака и поднимался вверх вместе с клубами дыма в интервале глубин от 3564 м до 3062 м, непрерывно производя измерения. Если у жерла температура приближалась к 300 °С, то в 6—8 м от него она составила 18,6 °С (при средней температуре воды 2,7 °С). Близ жерла резко меняются и все другие параметры воды: рН снизилась до 7,28 (фон — 8,3), соленость до 33 ‰ (фон — 34,9 ‰), прозрачность составила 0,24 усл. ед., а скорость звука 1558 м/с (фон — 1502 м/с). Для этой активной части постройки характерна медная «специализация» рудных образований.

Жизнь на дне рифта исключительно бедна. Из иллюминаторов подводных аппаратов на сотни метров у дна не видно ничего живого. Это неудивительно, поскольку и в донных осадках здесь всего 0,1—0,2 % органического углерода. На участке площадью около 250 м² встречается не более 1 экземпляра неподвижных животных фильтраторов — губок, горгонарий, серпулид. Еще реже попадаются подвижные креветки, крабы и рыбы. Правда, в местах накопления донных осадков иногда видны следы биотурбации — перемешивания верхнего слоя животными. Возникают так называемые «леопардовые осадки» — холмики высотой 2—4 см, отличающиеся по цвету от основного фона осадка.

И близ действующей гидротермы здесь мы не увидели ничего похожего на те оазисы жизни, которые нам приходилось раньше наблюдать на гидротермах Тихого океана — на хребте Хуан де Фука и в котловине Калифорнийского залива, где среди горячих источников и черных и белых дымов буквально кишат самые разнообразие и необычные животные. В гидротермах Тихого океана основу жизни составляют хемосинтезирующие бактерии, создающие обширные бактериальные маты — сплошной ковер белого или кремового цвета вокруг источников. Здесь же гигантские пурпурные черви — вестиментиферы длиной до 2 м, питающиеся бактериями и использующие губительный для большинства организмов сероводород, крупные моллюски калиптотены со сходным питанием, крабы и рыбы. Именно такой биоценоз мы ожидали встретить и в Атлантике.

Но по мере приближения к горячим источникам и повышения температуры отмечали лишь все большее увеличение содержания мелких (весом менее 1 г) и очень подвижных креветок римикарес. Они образовывали огромные стаи, похожие на пчелиный рой, и смело кидались в облака

черного дыма, выходящие из отверстий в рудной постройке. На прожекторы подводного аппарата креветки не обращали никакого внимания — они оказались слепыми. Сплошным покровом креветки покрывают и сами рудные постройки близ выходов черных дымов. Не случайно в желудках креветок обнаружены минералы этих дымов — мелкие зерна пирита и халькопирита.

В более прохладных местах по краям гидротермальных холмов располагались хищники — крабы и угревидные рыбы длиной до 1,5 м.

ДРЕВНИЕ РУДНЫЕ ПОСТРОЙКИ

В 2,5 км к северо-востоку от действующей гидротермальной постройки располагается цепочка из 35 холмов, покрытых сверху мощным слоем продуктов подводного выветривания — сульфидов. Это и есть древние гидротермальные постройки, которые, как считали ранее, не представляют интереса как источники руды. В рейсе мы изучили 5 таких построек, закартировали их и собрали многочисленные пробы. Две из них оказались грандиозными сооружениями в форме усеченного конуса высотой до 70 м и диаметром у основания около 200 м. Эти холмы в 10—12 раз крупнее, чем считали ранее, и по размерам значительно превосходят современную гидротермальную постройку на полигоне ТАГ.

Верхняя часть постройки близ выхода древнего гидротермального источника закрыта плитчатой синевато-черной броней из почти чистых оксигидратов марганца, типичных для низкотемпературных гидротерм. Склоны покрыты слоем рыхлого материала толщиной до 30 см, а в нижней части до 50 см. Под ним — коренная массивная сульфидная руда. По определениям возраста, проведенным различными методами, образование построек началось 10 тыс., а закончилось 6 тыс. лет назад. Таким образом, все это время они находились под агрессивным воздействием придонных вод.

Коренная руда на 88 % состоит из пирита, а на 12 % из халькопирита. Содержание железа в ней — около 20 %, меди или цинка (в зависимости от «специализации» постройки) — около 5 %.

Среди рыхлых образований на поверхности построек наиболее распространены гетит и нонтронит — продукты выветрива-

ния железосодержащих сульфидных минералов, окрашенные в разные цвета — желтые, коричневые, оранжевые, кирпично-красные и т. п. При этом на постройке обычно превалирует один из этих минералов. Рыхлый материал нонтронитового состава содержит до 10—20 % железа и 50—58 % кремнезема. В образцах с высоким содержанием гетита 23—30 % железа и около 5 % меди.

Выделяются, таким образом, две группы рыхлых образований, возникающих на поверхности коренных сульфидных руд древних построек: нонтронитовая и гетитовая. Для первой, наиболее хорошо изученной во время одного из погружений, характерно сочетание нонтронита с марганцевыми корками, сосредоточенными в верхней части постройки и образующими как бы черепичную крышу. Толщина «плиток» обычно не превышает 2—3 см, они синевато-черные, очень хрупкие. Состоят плитки почти из одного минерала — бернессита, главный рудный элемент в них — марганец, содержание микроэлементов незначительно. Образование стойкого к растворению плаща из нонтронита и марганцевых корок характерно именно для низкотемпературной стадии гидротермального процесса, завершавшего высокотемпературный (сульфидный) этап. Там, где низкотемпературный этап был кратковременным или же вообще отсутствовал, возникало гетитовое покрытие, также предохранявшее постройку от выветривания.

Если же учитывать еще один тип защиты построек от разрушения из осадочных отложений, изученный нами ранее, то вряд ли можно считать древние сульфидные холмы на дне долгожителями. Последний тип возникает в местах с высокой скоростью отложения осадков и нередко вместе с гетитовым покрытием (например, в бассейне Гуаймас в Калифорнийском заливе). Как показывает изучение участков океанической коры на суше — офиолитовых поясов, такой защитный покров сульфидных построек может сохранять их миллионы и сотни миллионов лет³.

Для поисков древних построек в нашем рейсе был предложен и испытан метод геологического сканирования толщи воды и донных осадков — изучение аномалий содержания в донных осадках ряда элементов и минералов — индикаторов гидротермальных процессов с учетом времени

их образования. При этом для изучения событий последних 20—10 тыс. лет применялась стратиграфия высокого и сверхвысокого разрешения, что дало возможность датировать и коррелировать события гидротермальной истории на полигоне ТАГ и на удаленном от него более чем на 300 км полигоне «Снейк-Пит».

Таким образом, в первой советской геологической экспедиции с глубоководными аппаратами «Мир» на Срединно-Атлантическом хребте получены данные, опровергающие представление о неперспективности древних гидротермальных построек как источников руды. Впервые удалось доказать, что эти скопления металлов, общая масса которых составляет многие миллионы тонн, в определенных условиях могут сохраняться. Важность этого открытия не только в том, что теперь можно представить, как сохранились руды в древних офиолитовых поясах на суше, но и в том, что удалось разработать новые направления поисков руд на дне океана на участках без активных гидротерм.

В самом деле, если среднее время активной жизни сульфидной постройки около 10 тыс. лет, а возраст базальтового ложа океана достигает 150 млн лет, то можно считать, что таких хранилищ руды (в том числе и засыпанных осадками) в десятки тысяч раз больше, чем современных активных гидротерм. Другими словами, главная часть ценных сульфидных руд сосредоточена не в эффектных современных башнях с «курильщиками» наверху, а в несравненно более многочисленных древних, не активных в настоящее время гидротермах. По нашим расчетам, на долю этих рудных сооружений приходится более 99 % от общего количества сульфидных руд, происхождение которых связано со срединными хребтами. Этот вывод заставляет в корне менять тактику поисков таких руд. В самих срединных хребтах почти все гидротермы и связанные с ними скопления руды приурочены к узкой полосе рифтовой долины, пересекающей гребень хребтов. Древние же постройки, зарождающаяся там же, в ходе спрединга отодвигаются на склоны срединных хребтов и постепенно выходят на абиссальные равнины. Чем дальше от области зарождения океанической коры — срединного хребта — тем базальты ложа океана и находящиеся на них рудные постройки древнее, тем больше толща осадков. Постепенно они засыпают и самые высокие рудные башни. Для поиска таких погребенных сооружений необходимы осо-

³ Краснов С. Г., Попов В. Е. Колчеданные руды на суше и в океане // Природа. 1988. № 6. С. 12—13.

бые методы — сейсмическое «просвечивание» дна, бурение с применением геологических и геохимических методов анализа и т. п. Пока — это дело будущего.

В последние годы становится все более очевидным, что гидротермальная деятельность и поступление рудного вещества на дно океана не ограничивается глобальной системой срединных хребтов.

Выявляются гидротермальные области и рудные узлы в районах, где геологическое строение и геодинамическая обстановка отличаются от характерных для срединно-океанических хребтов. Это прежде всего островные дуги, и в особенности их тыловые части, где также установлен спрединг (например, в западной части Тихого океана и в Андаманском море); «горячие» точки и связанные с ними цепи подводных вулканов (например, цепи Императорских или Гавайских подводных гор); области пересечения тройного сочленения срединных хребтов (в Тихом и Индийском океанах).

Таким образом, выделяется уже по крайней мере 4 геодинамических обстановки гидротермальной деятельности в океане. Эти открытия резко изменяют представления о вкладе вещества, поступающего из недр на дно океана. Около 10 лет назад известный советский геолог Н. М. Стрехов оценивал его в 1,6 %. По подсче-

там автора этих строк, поступление, например, марганца из глубинных источников на дне океана в 6—8 раз превышает его поступление с суши. Таким образом, можно считать этот элемент и ряд других продуктом гидротермальной деятельности. Именно она определяет и анионный состав морской воды. Представляется, что мощность гидротермальной системы циркуляции морской воды через базальты столь велика, что весь объем вод океана проходит через гидротермы на протяжении всего 3 млн лет. Именно через эти источники на дно поступает огромное количество газового, растворенного и твердого вещества.

Гигантская по масштабам деятельность гидротерм на дне океана — это новый мир, до недавнего времени скрытый от исследователей многокилометровой толщей вод. Проникновение в него только начинается. Изучено не более 0,01 % вероятных площадей с гидротермальной активностью. Главные открытия впереди.

В марте 1988 г. рейс завершился. Новые подводные аппараты оказались надежными и позволили собрать исключительно богатый и разнообразный материал, имеющий и теоретическое, и практическое значение. Не случайно работа «Миров» и результаты экспедиции получили высокую оценку зарубежных специалистов по подводным исследованиям, побывавших на борту нашего судна во время захода в Гавр и Амстердам.

НОВЫЕ КНИГИ

Геология

В. П. Гаврилов. ЗАГАДКА ГЕОТЕКТОНИКИ. / Отв. ред. В. Е. Ханн. М.: Наука, сер. «Планета Земля и Вселенная», 1988. 192 с. Ц. 45 к.

Геотектоника — наука о строении, движении и развитии земной коры, а также о структуре и развитии Земли в целом — за свою короткую жизнь сделала немало. И все же главная ее загадка еще не разгадана, еще до конца не ясно, какие силы управляют развитием Земли. В. П. Гаврилов,

профессор и заведующий кафедрой в Московском институте нефти и газа имени И. М. Губкина, взял на себя трудную задачу осветить в популярной форме борьбу мнений в области теоретической геотектоники.

Обсуждая различные тектонические гипотезы развития нашей планеты, он особенно подробно останавливается на концепции тектоники литосферных плит. Автор показывает, как успешно эта концепция объясняет многие геологические явления, например еще не-

давно не имевшее объяснения периодическое усиление активности недр. Концепция эта, принятая сейчас во всем мире, кроме чисто научных проблем помогает решать и сугубо практические задачи, связанные с поиском минерального сырья.

Познакомив читателя с дискуссией вокруг глобальной тектоники плит, автор критически оценивает и другие геотектонические гипотезы, включая почти фантастическую — взгляд на Землю как на своеобразный кристалл.

М.М. Наумова
С.А. Писарева

Какими красками писал Дионисий?



Майя Марковна Наумова, кандидат физико-математических наук, заведующая сектором лабораторного анализа Всесоюзного научно-исследовательского института реставрации Министерства культуры СССР. Занимается изучением красочного слоя станковой и монументальной живописи в основном методами структурного анализа.

Светлана Алексеевна Писарева, старший научный сотрудник того же сектора. Специализируется на исследовании пигментов красочного слоя химическими методами.

В ЯНВАРСКОМ номере журнала «Природа» за 1984 г. была опубликована статья В. Н. Голубова и Л. П. Галдобинной «Краски Дионисия и древний ледник». Эти авторы пришли к заключению, что, расписывая собор Рождества Богородицы в Ферапонтове, Дионисий пользовался преимущественно местными пигментами, приготовленными из разных по цвету галек, которые в изобилии встречаются по берегам близлежащих озер. Такая точка зрения впервые была высказана художником Н. М. Чернышевым еще в 1923 г. и с тех пор переходит из одной публикации в другую. Сейчас ее придерживаются почти все искусствоведы и художники. Однако не мешает напомнить, что заключение это чисто умозрительное, не подкрепленное физико-химическими исследованиями самого красочного слоя.

Такие исследования стали возможны лишь в начале 80-х годов, когда было принято решение о реставрации собора и Всесоюзный научно-исследовательский институт реставрации приступил к разработке методики реставрации красочного слоя росписей Дионисия. Предстояло получить точные сведения о технике живописи (в первую очередь о пигментах и связующих авторского красочного слоя), о предыдущих реставрационных вмешательствах в жи-

вопись, о характере разрушения красочного слоя, о возможном изменении авторского колорита живописи. Все эти сведения представляют огромный интерес и для реставраторов, и для искусствоведов, поскольку собор Рождества Богородицы — единственный в нашей стране памятник, где авторские настенные росписи сохранились достаточно полно.

В этой статье речь пойдет главным образом о минеральных пигментах, которые были обнаружены нами в красочном слое росписей Дионисия. Вместе с тем перечень основных пигментов росписи сам по себе не позволяет ответить на вопрос, является ли техника росписей Дионисия сугубо индивидуальной или она типична для средневековой живописи вообще и для данного региона в частности. Разобраться в этом можно, только сравнивая результаты исследования этих росписей с результатами, полученными при изучении других памятников средневековья.

ИЗ ИСТОРИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ПИГМЕНТОВ

В нашем институте вот уже 15 лет ведется комплексное сравнительное исследование материалов станковой и монументальной живописи.

тальной живописи самых разных эпох — от Древнего Египта до современности. Объекты исследования очень разнообразны: здесь и египетские маски III—II тысячелетий до н. э., и энкаустические (краски на основе воска) иконы VI—VII вв., и византийские иконы, и книжные миниатюры, и позднеготическая живопись, и полихромная скульптура XV в. Всего нами исследовано более 200 различных произведений. Надо отметить, что подобные работы проводились в нашей стране впервые, поэтому нам пришлось опираться на зарубежный опыт, сопоставляя наши результаты с данными зарубежных исследователей.

С древних времен и до начала XVII в. художники располагали примерно одинаковым набором пигментов. Правда, каждая эпоха или регион имели свои особенности. Повсеместно распространенным белым пигментом были белила: в станковой живописи — свинцовые, а в настенной — известковые. Иногда в качестве белого пигмента использовали природный известняк (египетские маски из Каунасского художественного музея им. Чюрлениса) или мел (в белом пигменте полихромной скульптуры Хермена Роде из г. Таллина обнаружены кокколиты). В некоторых памятниках белым пигментом служила природная смесь гипса и кальцита. Она была идентифицирована зарубежными специалистами в росписях Древнего Рима и Греции, в настенных росписях Югославии; мы обнаружили ее и в латинской псалтыри XIII в. Гипс и мел использовались также как наполнитель белого грунта под живопись. При этом в средневековье в Южной Европе предпочитали гипс, в Северной — мел, а в Древней Руси в иконописи наряду с мелом использовали и гипс.

Во всех видах живописи и во всех регионах в качестве красных пигментов применяли различных оттенков минеральные пигменты: красные земли, киноварь, свинцовый сурик. Красными органическими пигментами растительного и животного происхождения пользовались главным образом в станковой живописи — как русской, так и западноевропейской и византийской.

Синие пигменты — ультрамарин и индиго — также использовали во всех регионах с древнейших времен. Излюбленным синим пигментом египтян была александрийская фритта (мы обнаружили ее на египетских масках из Каунаса), но уже в Древней Греции она почти не использовалась. Начиная с XIV в. широкое распространение получил еще один синий мине-

ральный пигмент — азурит. В XVI в. был получен искусственный голубой пигмент — смальта (калиевое силикатное стекло, окрашенное кобальтом), который широко использовался в средневековых иконах и монументальной живописи.

Самым распространенным желтым пигментом всегда была охра, хотя часто использовали и аурипигмент. Особенность византийской и западноевропейской средневековой живописи — очень широкое использование минерального пигмента, именуемого свинцово-оловянистой желтой. В русских памятниках этот пигмент обнаружен нами только в рукописи 1073 г. «Изборник Святослава».

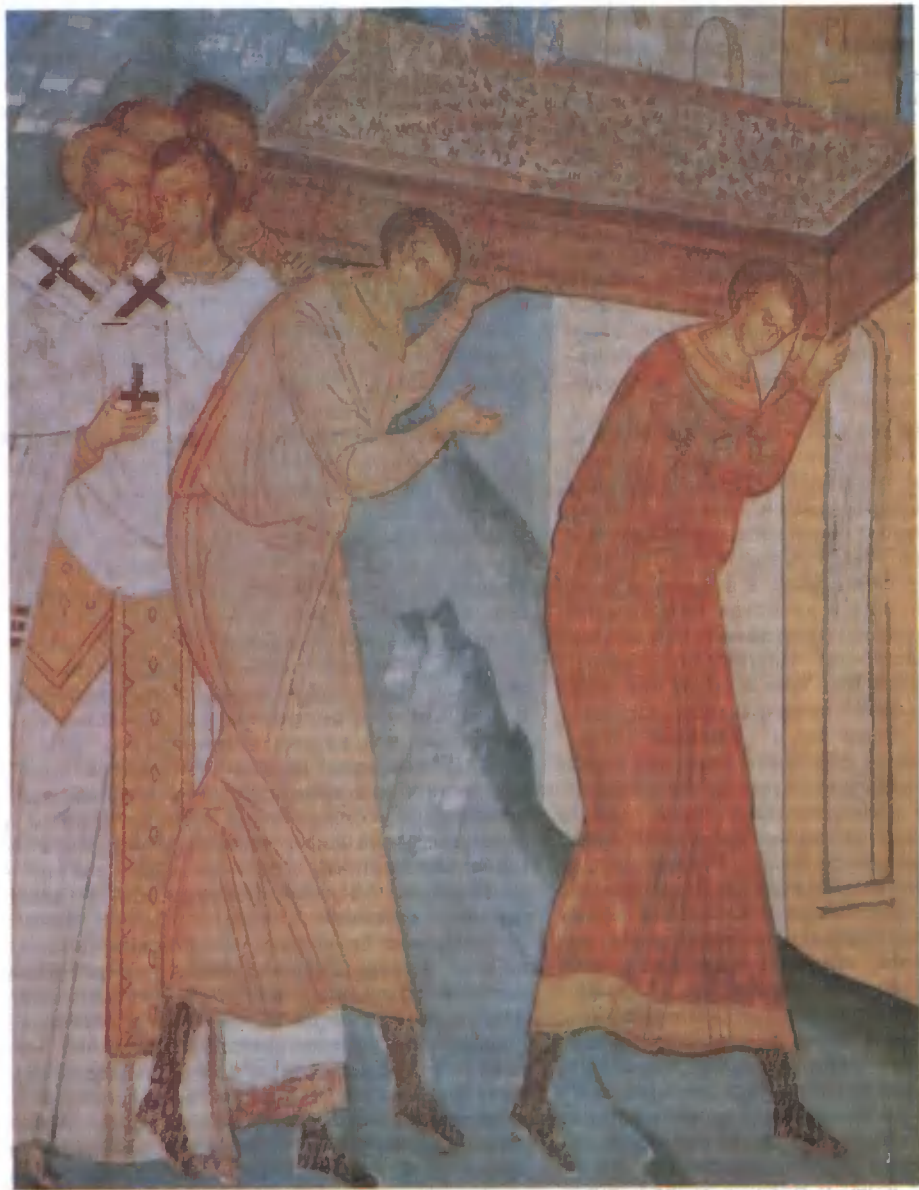
Из зеленых пигментов в средневековье самым распространенным был глауконит. Мы обнаружили его во всех исследованных нами памятниках станковой и настенной живописи. Кроме того, в станковой живописи повсеместно использовались зеленый и сине-зеленый ацетаты меди, больше известные как яри-медянки. Гораздо реже встречается малахит — искусственный или натуральный. Нами малахит обнаружен на иконах XV в. из Успенского собора Кирилло-Белозерского монастыря, а также на итальянских миниатюрах XIV в.

В качестве черных пигментов древнерусские живописцы обычно использовали древесный уголь и сажу. Наряду с ними в западноевропейской живописи встречаются такие пигменты, как жженая кость и виноградная черная (пережженные виноградные косточки и лоза).

Нужно отметить, что многие пигменты, о которых шла речь, могут быть как природными, так и искусственными. Например, свинцовые белила в природе существуют в виде довольно редкого минерала гидроцеруссита, поэтому с древнейших времен их получали искусственно — из металлического свинца и уксуса. Александрийскую фритту синтезировали еще в Древнем Египте обработкой при высокой температуре окислов меди, кальция, кремния и измельченного стекла. Недавно проведенные исследования показали, что александрийская фритта имеет такую же структуру, как природный синий минерал купоревант.

Искусственным путем получали в раннем средневековье и свинцово-оловянистую желтую. Этот пигмент образуется при сплавлении свинца, олова и кремния. Природные его аналоги пока не обнаружены.

Киноварь достаточно широко распространена в природе. Тем не менее в средневековых трактатах встречается много



Роспись южной
стены собора
Рождества Бо-
городицы —
сцена из жития
святого Нико-
лая. Фон напи-
сан азуритом,
горки — глауко-
нитом.

рецептов искусственного ее получения из руты и серы. А вот свинцовый сурик в природе встречается довольно редко, поэтому данный пигмент обычно получали высокотемпературной обработкой свинцовых белил.

Во многих средневековых источниках приведены рецепты приготовления различных синих и зеленых пигментов путем растворения меди в уксуснокислой среде. Отдельные варианты таких рецептов дают возможность получить в качестве конечного

продукта широко употреблявшиеся в западноевропейской станковой живописи яри-медянки, о которых уже шла речь. Имеются и другие рецепты, в которых медные пигменты получают добавлением в уксуснокислый раствор меди квасцов, соли, негашеной извести и других ингредиентов. Возможно, таким путем получали сульфаты, карбонаты и хлориды меди, которые также могли использоваться художниками.

Таковы самые общие сведения о пигментах, применявшихся художниками вплоть

Сцена из Акафиста Богоматери. Песнь 5. Зеленый позем написан смесью познякита с малахитом, фон — азурином.

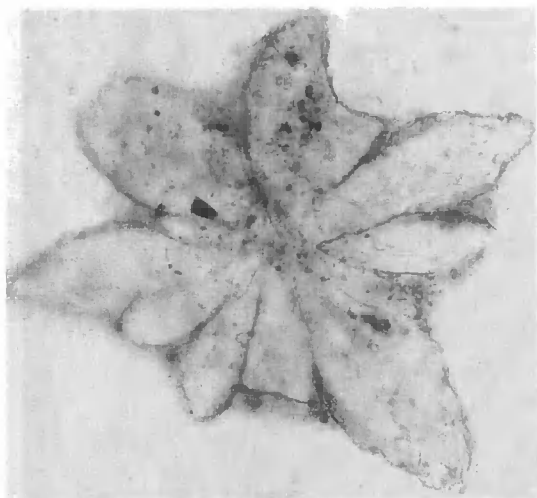


до XVII в. Теперь, видимо, следует рассказать, насколько широко использовал эти красочные материалы Дионисий, расписывая собор в Ферапонтове.

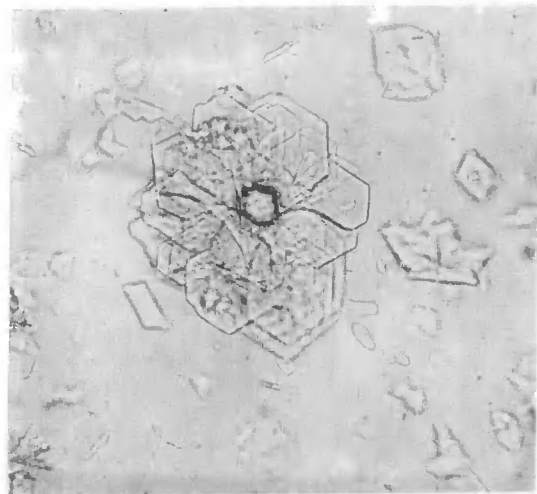
ПЕРВЫЕ ШАГИ В ИЗУЧЕНИИ РОСПИСЕЙ ДИОНИСИЯ

К исследованию красочного слоя росписей собора Рождества Богородицы мы

приступили в 1981 г. Никаких научных данных о составе пигментов и связующих здешних росписей тогда не существовало, и реставраторам приходилось довольствоваться сведениями, представленными в книге Н. М. Чернышева «Искусство фрески в Древней Руси», изданной в 1954 г. В начале 20-х годов он посетил Ферапонтово и высказал мнение, что Дионисий расписывал собор Рождества Богородицы пигментами, приготовленными из местных галек разнообразных оттенков. Исключение Чернышев



Сросток кристаллов искусственного познякита из красочного слоя росписей собора Рождества Богородицы; увел. в 700 раз. Познякит редко встречается в природе, а в красочном слое этот минерал обнаружен впервые. Микрофотографии Ю. К. Азметзянова.



Агрегат совместно синтезированных кристаллов познякита и малахита [сферолит в центре]; увел. в 700 раз. В красочном слое росписей Дионисия часто встречаются аналогичные агрегаты, что говорит о возможности искусственного получения этих пигментов в древности.

делал только для синих и некоторых зеленых красочных слоев, считая, что они могли быть написаны привозными пигментами. При этом он был уверен, что каждый красочный слой написан строго определенным пигментом, т. е. сколько цветов, столько и пигментов.

Искусствовед И. А. Кочетков в 1977 г. выступил против этой точки зрения¹. Его доводы: большой тональный разброс местных галек в пределах одного цвета, нецелесообразность их использования при спешном письме в течение короткого северного лета, отсутствие в древних архивах сведений об использовании местных красок.

Для изучения красочного слоя мы отобрали со стены под микроскопом (при 25-кратном увеличении) более 300 микропроб красочного слоя всех различных цветов и оттенков. Для их исследования были использованы самые разные методы анализа: микрохимический, эмиссионный спектральный (в том числе, лазерный), рентгеноспектральный, рентгенофазовый, ИК-спектроскопия, тонкослойная хроматография, световая и электронная микроскопия.

Еще на раннем этапе наших работ, при изучении в поляризационном микроскопе микропроб красочного слоя, написанного охрами разных оттенков, а также послойном изучении совокупности красочных слоев на поперечных срезах, мы убедились, что многообразие оттенков росписей связано не с количеством пигментов, а с богатством технических приемов Дионисия. Например, применяя систему лессировок известковыми белилами разной толщины поверх подкладочного слоя, нанесенного пигментом, художник получал десятки оттенков. В других случаях пигмент смешивался с различным количеством известковых белил, иногда в белила добавлялась киноварь и т. д.

Кроме того, мы провели сравнительное микроскопическое исследование местных фиолетовых и сиреневых галек, с одной стороны, и пигментов красочных слоев, очень близких по цвету к этим галькам, — с другой. Оказалось, что состав галек и пигментов совершенно различен. Так, основную массу бесцветных компонентов исследованных галек составляют крупные кристаллы кальцита, а на минералы-хромофоры (окрашенные в красный цвет силикаты и гематит) приходится лишь незначительная часть. Вместе с тем в гальках много желтых железосодержащих минералов.

В пигментах же росписей содержится незначительное количество бесцветных компонентов, представленных преимущественно

¹ Кочетков И. А. О первоначальном колорите росписей Дионисия // Памятники культуры. Новые открытия. М., 1977. С. 257—258.

кристаллами кварца разнообразной формы. Желтых железосодержащих минералов, характерных для термически необработанных и плохо очищенных от природных примесей охр, почти нет.

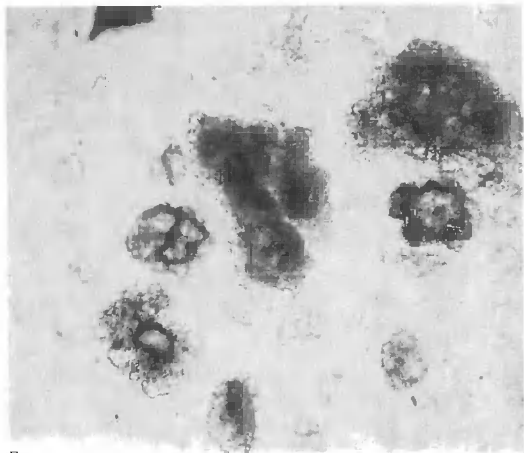
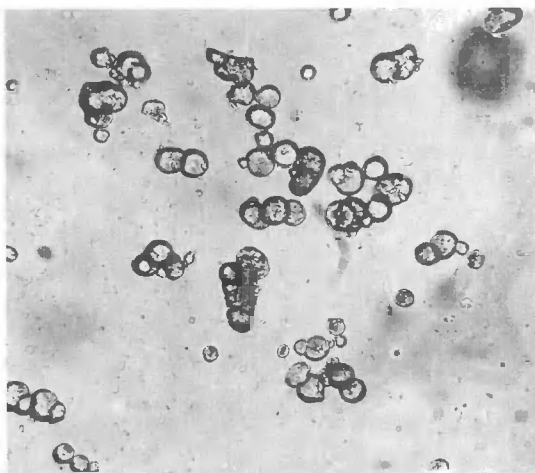
Точная идентификация пигментов росписей и галек из окрестностей Ферапонтова продолжается, однако уже сейчас ясно, что число использованных Дионисием пигментов несравненно меньше, чем количество оттенков и цветов росписей.

ДАЛЬНЕЙШАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПИГМЕНТОВ

Наиболее интересны результаты исследования пигментов зеленых красочных слоев. Зеленым цветом во многих композициях написаны позымы (изображения земли), одежды святых, многие детали архитектуры. Наряду с обычным для монументальной живописи пигментом — глауконитом, мы обнаружили большую группу зеленых медьсодержащих пигментов, как природного, так и искусственного происхождения (точные формулы пигментов установлены методом рентгенофазового анализа).

Одежды святых на стенах и столпах собора написаны природным фосфатом меди — псевдомалахитом, который своим темно-зеленым цветом и концентрически-зональным строением чрезвычайно похож на природный малахит, представляющий собой основной карбонат меди. Псевдомалахит красочного слоя сильно измельчен, причем кристаллы его имеют острые края, характерные для пигмента, приготовленного истиранием природного минерала. В позахмах барабана, парусов, столпов и алтаря был обнаружен искусственный малахит. Все его кристаллы имеют вид мельчайших сферолитов (от 3—5 мкм до 1—2 мм), чем, собственно, и доказывается искусственное происхождение пигмента. Когда готовят пигмент из природного бирюзового малахита, известного всем как поделочный камень, его тщательно истирают. В результате получают частицы неправильной остроугольной формы, отличающиеся от округлых кристаллов искусственного пигмента.

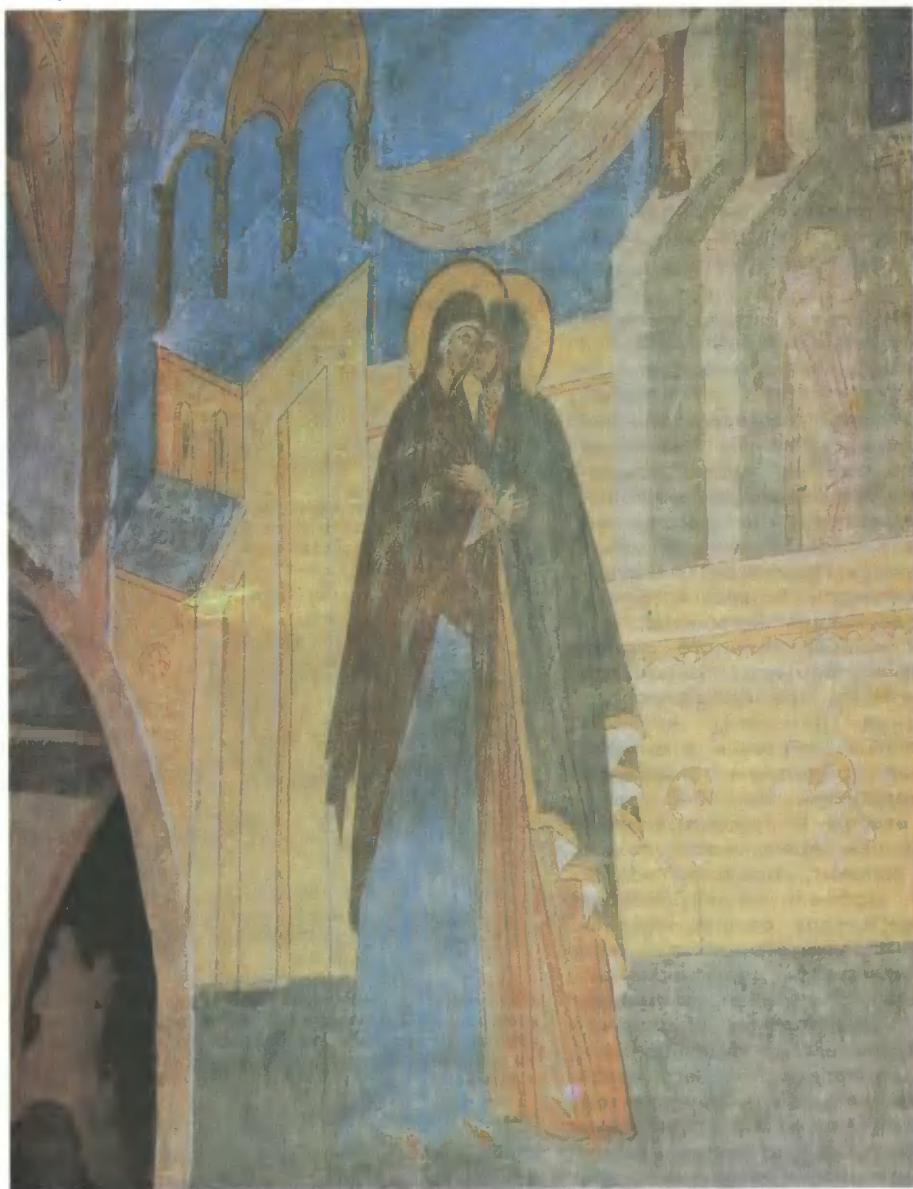
Об искусственном происхождении малахита росписей свидетельствуют сахаристоподобные голубоватые комки, состоящие из очень тонких слабо анизотропных пластин, внутри которых видны мельчайшие сферолиты. Изучение их на микроскопе показало, что сферолиты образованы искус-



Сферолиты искусственного малахита из красочного слоя росписей Дионисия (вверху) и синтезированные кристаллы малахита аналогичной формы и размера из красочного слоя росписей Дионисия (внизу); увел. в 700 раз.

ственным малахитом, а сахаристоподобные комки представляют собой промежуточный продукт при его производстве. Кстати, эти комки не обнаружены в красочных слоях, написанных натуральным пигментом — псевдомалахитом.

На позахмах столпов, наряду с искусственным малахитом, мы нашли голубой медный пигмент, представленный пластинками с низкой серой интерференционной окраской и ярко выраженной анизотропией кристаллов. Максимальный размер отдельных пластин достигает 1 мм, и каждая из них состоит из нескольких сроставшихся кристаллов.



Сцена из Акафиста Богоматери. Песнь 6. Синие фоны и одежды написаны азуристом, зеленые поэмы — смесью познякита с азуристом.

Довольно долго нам не удавалось определить, что это за кристаллы. Дело в том, что поэмы написаны многокомпонентной смесью, состав которой, наряду с зелеными медными пигментами, входят бесцветные силикаты и желтая охра. Все эти компоненты высокодисперсны, что затрудняет использование микрохимических реакций для определения анионов, а это, в свою очередь, не позволяет установить класс минерала. Специально отобранные крупные пластины дали

на рентгенограмме точечные интерференционные максимумы, которые плохо поддаются расшифровке. В очищенном от примесей голубом кристалле был обнаружен сульфат-ион. В таком же кристалле, исследованном на электронном микроскопе с микрозондовой приставкой, наряду с медью присутствовала сера. Наконец, нам удалось получить рентгенограмму, позволившую однозначно определить голубой минерал как водный сульфат меди — познякит. Характер кристаллов свидетельствует



Изображения святых в восточной подпружной арке собора Рождества Богородицы. Зеленая одежда святого в левом медальоне написана смесью синего азурита и желтой охры. Синий фон и голубые круги в правом медальоне написаны смесью азурита и известковых белил.

об искусственном его происхождении. Насколько нам известно, познякит никогда ранее в живописи не идентифицировался.

Вообще, познякит в красочном слое росписей Дионисия был для нас несколько неожиданным, так как водные сульфаты крайне неустойчивы и их длительное существование в настенной росписи казалось невозможным. Почти одновременно мы обнаружили познякит в подлежащей реставрации итальянской картине XVI в. из собрания Государственного музея изобразительных искусств им. А. С. Пушкина. Судя по отсутствию кристаллических сростков, характерных для искусственного познякита, итальянский художник писал природным пигментом.

При изучении поземов парусов и некоторых участков алтаря в красочном слое мы определили еще один искусственный зеленый пигмент — атакамит, который является основным хлоридом меди. Об искусственном происхождении атакамита росписей говорит форма кристаллов — сростки в виде звезд.

Таким образом, в росписях Дионисия

нами были идентифицированы три медных пигмента: малахит, познякит и атакамит. Нам не известны точные рецепты их получения, и все же мы решили синтезировать каждый из них, а также их смеси, соответствующие красочным смесям росписей Дионисия. Основная цель экспериментов — выяснить, насколько легко можно получить все эти медные соли искусственно. Кроме того, нас интересовало, возможно ли их совместное осаждение (т. е. синтезировались эти пигменты каждый в отдельности и потом смешивались для получения нужного зеленого тона или же сразу синтезировали смесь нужного цвета) и какова форма частиц синтетических осадков, совпадает ли она с формой частиц аналогичных соединений из красочных слоев.

В основу наших экспериментов была положена методика, разработанная в лаборатории осадочных пород Института литосферы АН СССР². Синтетический позня-

² Нечипоренко Г. О. О синтетическом позняките // Зап. Всес. минералог. об-ва. 1971. Сер. 2. Ч. 100. С. 754—756.

кит, малахит и смесь познякита с малахитом мы получали, добавляя к раствору медного купороса разные количества бикарбоната натрия в виде раствора или порошка. Образующийся осадок малахита оказался зеленым, познякита — голубым, смеси малахита с познякитом — голубовато-зеленоватым.

Исследование осадков под микроскопом показало, что частицы познякита анизотропны и представлены пластинчатыми кристаллами ромбической и псевдогексагональной формы. Сравнивая препараты природного и синтезированного нами познякита с препаратом, приготовленным из красочного слоя росписей, мы убедились в близости последнего к синтетическим образцам.

Полученный нами малахит имел вид мелких округлых частиц (диаметр 10—20 мкм) — сферолитов, состоящих из тончайших радиальных волокон. Напомним, что для природного малахита характерны призматические и игольчатые кристаллы, т. е. он имеет совсем другое строение. Зато формы частиц синтезированного нами малахита и малахита из красочного слоя росписей оказались идентичны.

Искусственным путем мы получили также атакамит и смесь атакамита с малахитом. Для совместного осаждения смеси в раствор медного купороса вводился бикарбонат натрия, затем — едкий натр (для создания щелочной среды) и хлорид натрия. Осадок состоял из двух компонентов: атакамита и малахита в виде мелких сферолитов. Морфологические характеристики синтезированной нами смеси и аналогичных пигментов из красочного слоя росписей очень близки.

Чтобы рассказ о зеленых пигментах собора Рождества Богородицы был полным, необходимо отметить, что нам неизвестны другие памятники монументальной живописи, где в авторском слое были бы обнаружены зеленые пигменты на основе меди. Единственный зеленый медный минерал, довольно часто встречающийся в настенных средневековых росписях, — это атакамит. Однако сейчас точно установлено, что данный минерал — продукт перерождения синего пигмента азурита и к авторскому слою отношения не имеет.

Помимо зеленых пигментов для передачи зеленого цвета Дионисий использовал смесь синего азурита и желтой охры. Этой смесью написаны все зеленые одежды архангелов в барабане, ряд одежд святых в медальонах и в некоторых композициях на стенах. Прием этот, чрезвычай-

но характерный для средневековой живописи, широко использовался и в книжной миниатюре, но при этом чаще применяли смеси ультрамарина со свинцово-оловянистой желтой или индиго с аурипигментом. Кстати, последняя смесь обнаружена нами на иконах Дионисия из иконостаса собора Рождества Богородицы.

Теперь несколько слов о синих и черных пигментах, использованных в настенных росписях. Н. М. Чернышев был уверен, что синие и голубые красочные слои написаны очень дорогим привозным пигментом — ультрамарином, который готовили истиранием природного лазурита и тщательной очисткой его от сопутствующей породы. Наши исследования показали, что ультрамарина в росписях нет, как нет и другого синего пигмента — вивианита, о котором упоминается в статье В. Н. Голубова и Л. П. Галдобина. Единственный синий пигмент, с помощью которого Дионисий создал богатую сине-голубую гамму своих росписей, — азурит. Им написаны и фоны, и одежды, и многие детали архитектуры.

В монументальной живописи синие красочные слои обычно лежат поверх серой основы — рефти, составленной из черного пигмента и известковых белил. Такая подкладка придает синему красочному слою более глубокий тон, а в случае частичной утраты синего пигмента до известной степени сохраняет общий колорит росписи. Как мы уже отметили, в русской станковой и монументальной живописи для рефти использовали древесный уголь. В. Н. Голубов и Л. П. Галдобина предположили, что для получения черного цвета Дионисий использовал местный пигмент — шунгит. Однако в пробах из слоя рефти и черных участков живописи под микроскопом отчетливо видна клеточная структура сгоревших древесных волокон. Значит, черный пигмент росписей приготовлен из древесного угля.

ПЕРЕРОЖДЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ПИГМЕНТОВ В НАСТЕННОЙ РОСПИСИ

И, наконец, еще одна проблема, которой мы занимались при изучении красочного слоя росписей Дионисия, — возможное перерождение пигментов за время жизни памятника под действием атмосферы, биореагентов, предыдущих реставрационных вмешательств. Следов перерождения зеле-

ных медьсодержащих пигментов и синего азурита мы не обнаружили. Исключение составляют отдельные участки поземов в барабане, где предыдущие реставрационные промывки привели к частичному разрушению структуры малахита и атакамита.

Несколько особняком стоит вопрос о киновари. И. А. Кочетков считает, что все разгранки (полосы, отделяющие изображения разных сюжетов), изображение геенны огненной, одежды святых были яркого киноварного цвета, но за время существования памятника этот красочный слой либо частично утрачен, либо красная киноварь перешла в свою серую модификацию, в связи с чем колорит росписей существенно изменился.

Мы исследовали состояние красочного слоя на всех ярусах с помощью микроскопа непосредственно на стене. На разгранках второго яруса, на плаще св. Георгия, на столпе, на некоторых медальонах отчетливо видны остатки розового красочного слоя, состоящего из смеси красных кристаллов киновари и белил. Розовый слой лежит поверх красно-коричневой охристой подготовки. В настоящее время этот авторский слой почти полностью утрачен, остатки же его загрязнены пылью и имеют сероватый оттенок. В разгранках верхних ярусов киноварь не обнаружена, и даже спектральный анализ не показал следов ртути — следовательно, на этих участках живописи киновари никогда не было. В других участках, где киноварь есть, не обнаружено никаких следов ее перерождения.

Вообще, изучая собор Рождества Богородицы, мы не нашли следов перерождения авторского красочного слоя. Перерождение пигмента — изменение его химического состава — обнаружилось только

на поздних реставрационных вставках (XVIII в.), где белые детали написаны не известковыми, а свинцовыми белилами. Коричневые пятна на этих участках оказались двуокисью свинца. Но переход свинцовых белил в двуокись свинца возможен только в присутствии очень сильного окислителя. Это факт и округлая форма коричневых пятен навели нас на мысль о биогенном характере перерождения. Сотрудник нашего института биолог Ю. П. Петушкова после ряда экспериментов подтвердила нашу точку зрения. Таким образом, процесс перерождения свинцовых соединений в настенных росписях получил объяснение.

Итак, в результате комплексных исследований росписей собора Рождества Богородицы получены точные сведения о составе пигментов красочного слоя. Вместе с данными об органических связующих этого слоя и его детальном строении эти результаты позволяют нам составить представление о технике живописи настенных росписей Дионисия. Правда, картина еще далеко не полна, поскольку не исследовались железосодержащие пигменты красно-коричневой и желтой гаммы. Их изучение не только даст интересный материал для искусствоведов и реставраторов, но и приблизит нас к решению вопроса о причинах разрушения красочного слоя росписей.

³ Ляликова Н. Н., Петушкова Ю. П. Микроорганизмы — разрушители памятников архитектуры // Природа. 1988. № 6. С. 31—37.

СОВЕТСКИЕ АРХЕОЛОГИ В СИРИИ

Н. О. Бадер,
кандидат исторических наук
Н. Я. Мерперт,
доктор исторических наук
Р. М. Мунчаев,
доктор исторических наук
Институт археологии АН СССР
Москва

В МАРТЕ 1988 г. экспедиция Института археологии АН СССР под руководством Р. М. Мунчаева приступила к широкому исследованию в северо-восточной Сирии. Район этот — естественное продолжение территории Синдjarской долины, на которой в пределах соседнего Ирака наша экспедиция плодотворно работала в 1969—1980 гг.

Главная цель начавшихся

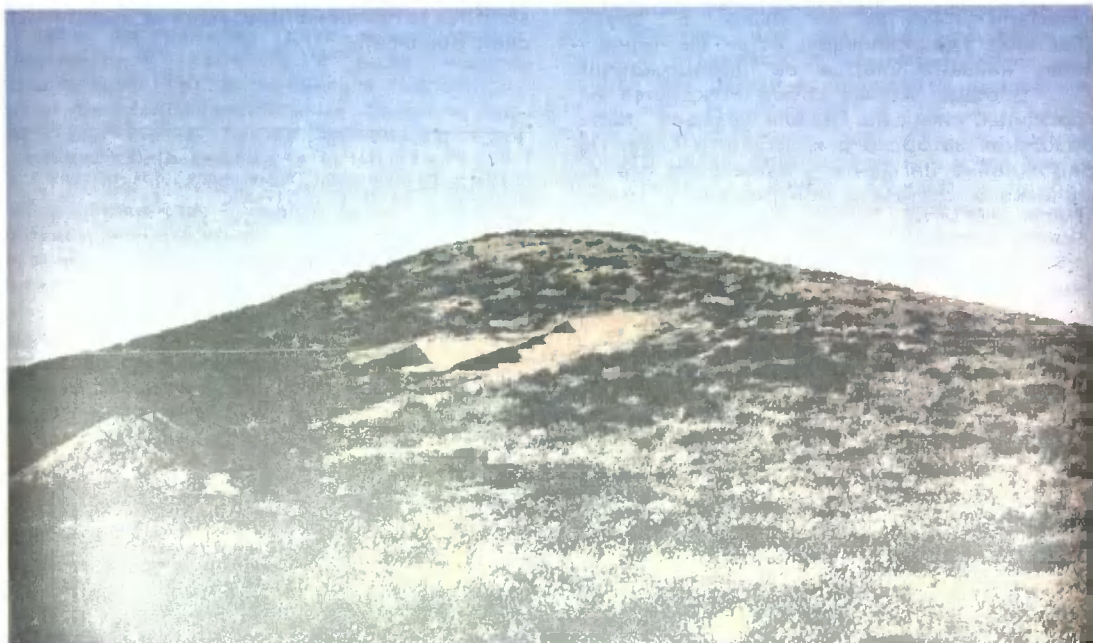
работ — всестороннее изучение исторического и культурного развития древнейшей Месопотамии, начиная с возникновения здесь производящих форм экономики и до появления городов, государственных образований, цивилизации. В минувшем сезоне исследования велись северо-восточнее города Хасеке. На этой территории ранее раскопки не проводились, хотя она изобилует археологическими памятниками, и прежде всего огромными теллями — остатками многослойных, тысячелетиями

существовавших поселений. Один из теллей, расположенный близ деревни Хазна и названный Хазна 1, стал объектом раскопок нашей экспедиции.

Телль расположен на берегу периодически пересыхающего ручья, вдоль которого встречается еще ряд таких же поселений. Диаметр телля 150 м, а высота превышает 17 м. На поверхности этого холма были собраны фрагменты сосудов, относящихся к различным периодам: от убейдского (конец V — начало IV тыс. до н. э.) до

Общий вид телля Хазна 1.

Фото Р. М. Мунчаева.





Начало раскопок на телле.

второй половины II тыс. до н. э.

Общая площадь раскопок достигла 575 м²; они охватили участки южного и западного склонов телля, лежащие на уровнях от 8,5 до 16,2 м от вершины, т. е. почти восьмиметровый культурный слой. На южном склоне вскрыты остатки построек, располагавшихся террасами, но конструктивно связанных между собой. Скорее всего, они принадлежат большому и сложному архитектурному комплексу, который создавался длительное время, неоднократно подвергался серьезным реконструкциям, но сохранял единый план и единые конструктивные принципы. Его основу составляли две главных опорных стены толщиной более 3 м, игравших, возможно, и оборонительную роль. Ход стен соответствовал в основном очертаниям холма, а сохранившаяся их высота достигала 2,5 м. Нижняя стена с основанием на уровне 13,5 м от вершины холма сложена из пластов и крупных блоков глины и обмазана глиняной штукатуркой. Она прослежена нами на протяжении более 15 м. Верхняя стена исследована на протяжении 8 м; она

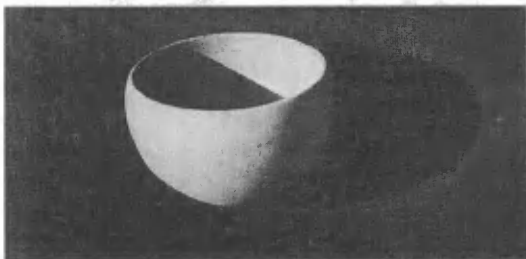
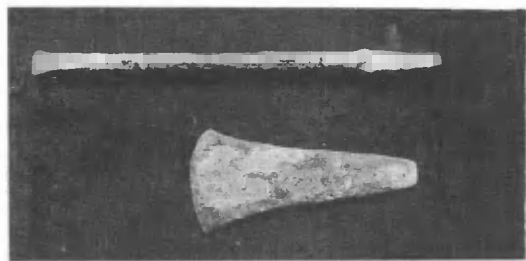
находится на уровне 11 м от вершины холма, имеет те же размеры, что и нижняя, но, помимо слоев и блоков глины, включает ряд кладок из сырцового кирпича. Между этими главными располагались промежуточные стены, крепящие края террас. Одна из них целиком сложена из сырцового кирпича и с обеих сторон укреплена контрфорсами. На огражденных стенами террасах располагались различные сооружения, в том числе производственные. Наиболее интересна большая двухэтажная печь для обжига керамики. Она имела округлую форму и состояла из топки, обжигательной камеры со сводчатым перекрытием и разделяющей их глиняной «доски» с продухами — отверстиями для горячего воздуха. Диаметр печи превышал 1,3 м; устье топки размером 65×55 см закрывалось «пробкой» из плотной красной глины.

На той же террасе сделаны находки и явно не бытового назначения. Таков сплошной кирпичный параллелепипед (2,5×1,25×1,5 м), близ которого найдены разрозненные человеческие кости и погребение младенца в большом горшке с на-

лепными ручками; горшок поставлен в обложенную кирпичами яму, конструктивно связанную с промежуточной стеной.

Найденная среди остатков этого комплекса керамика в основном представлена многообразными формами раннединастического периода, преимущественно аккадского (вторая половина III тыс. до н. э.). Его верхнюю хронологическую границу маркирует погребение взрослого человека (лежавшего скорчившись, головой на восток), которое сопровождалось остродонными сосудами и бронзовой булавкой — типичными для аккадских комплексов.

Конкретные жилые помещения на южном участке еще не выделены, но они наметились на западном, большая часть которого также занята сложной системой мощных, неоднократно перестраивавшихся и укреплявшихся стен. И здесь основной была стена, пересекавшая весь участок в соответствии с очертаниями холма. С внутренней стороны к стене примыкал ряд прямоугольных камер разных размеров. Они также подвергались неоднократным перестройкам, а некоторые позднее были заложены сырцовым кир-



Бронзовые орудия — тесло и долото, хрустальные и сердоликовые бусы, керамические сосуды из погребения взрослого человека. Хазна 1. III—II тысячелетия до н. э.

пичом. Этому более позднему этапу соответствуют уже не только аккадские, но и пост-аккадские керамические формы, относящиеся к рубежу III и II тысячелетий до н. э. и первым векам II тысячелетия до н. э.

На полу одного из помещений под ненарушенным слоем забутовки найдено богатое погребение взрослого человека, инвентарь которого не может быть датирован позже аккадского периода. Погребенный лежал в резко скорченной позе на правом боку головой на юг. При нем найдены типичные для указанного периода бронзовые изделия (тесло и длинное долото с желобчатым рабочим краем), обсидиановые наконечники стрел, обломок глиняной статуэтки и 215 хрустальных и сердоликовых бусин.

Эти выразительные находки позволяют достаточно точно датировать как период создания исследуемых конструкций, так и этапы их даль-

нейших перестроек. В целом же для вскрытой части поселения слой, относящийся к III тысячелетию до н. э., является основным. Он связан с одним из наиболее значительных событий в истории древней Месопотамии — первым объединением ее аккадской династией, заметной культурной интеграцией и активным продвижением аккадских групп на запад, вплоть до знаменитой ныне Эблы¹ и далее до Средиземноморского побережья.

¹ Около 20 лет назад итальянские археологи раскопали на холме Телль-Мардих, в 50 км южнее Алеппо (Сирия), огромный царский архив, включавший более 20 тыс. глиняных табличек. Из них стало известно, что именно здесь находилась столица одного из древневосточных государств Эблы. Это государство упоминается в Библии, но ничего конкретно о нем до открытия в Телль-Мардихе не знали. Оно существовало во второй половине III тысячелетия до н. э. и было завоевано около 2150 г. аккадцами.

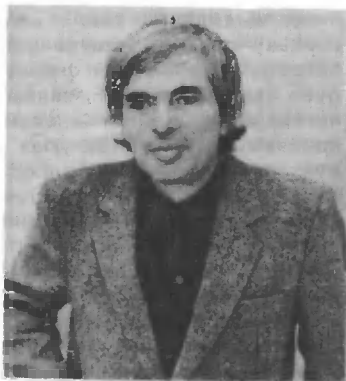
Однако не исключена возможность обнаружения на памятнике как более ранних, так и более поздних культурных слоев. Первые уже засвидетельствованы довольно многочисленными фрагментами керамики убейдской и урукской культур, найденными, правда, в слоях, нарушенных отмеченным выше активным строительством в III тысячелетии до н. э. Сохранившихся участков слоев названных культур пока открыть не удалось, но ведь раскопки велись до сих пор лишь на южной и западной окраинах телля, соответствующие же поселки скорее всего располагались ближе к центру и были перекрыты семнадцатиметровой толщей более поздних наслоений. Поиск их остатков, наряду с дальнейшим исследованием аккадской крепости, станут одной из задач последующих раскопок на поселении Хазна 1.

А. Г. Мержанов
Э. Н. Руманов

Как устроены ПРОЦЕССЫ



Александр Григорьевич Мержанов, доктор физико-математических наук, профессор, директор Института структурной макрокинетики АН СССР, генеральный директор МНТК «Термосинтез». Специалист в области горения и взрыва конденсированных веществ, тепловой неустойчивости вязких течений, фазовых переходов. Неоднократно публиковался в «Природе».



Эдуард Наумович Руманов, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник того же института. Научные интересы связаны с исследованиями тепловой неустойчивости сверхтекучего потока, горения газовых взвесей, плавления пористых веществ.

МЫ ХОТИМ дать штриховой портрет макроскопической кинетики. Ее предмет — процессы в веществе, рассматриваемом как сплошная среда, а не система атомов. Сами процессы изучаются давно, но представления об их устройстве, структуре (в отличие от структуры предметов) относительно молоды и привычны не для всех. Чтобы познакомиться с ними, лучше начать с некоторых типичных примеров. Затем попробуем разобраться в условиях реализации таких структур. При этом на первый план выступят соображения симметрии. Если нарисовать условную карту физики, то на одном полюсе окажется квантовая теория поля, правящая миром элементарных частиц, а на другом — кинетика. Тем не менее мы увидим, что значение симметрии для кинетики ничуть не меньше, чем для квантовой теории поля.

МЕХАНИЗМ ВЗРЫВА

В 1925 г. молодые сотрудники Ленинградского физико-технического института Ю. Б. Харитон и З. Ф. Вальта, исследуя окисление паров фосфора, обнаружили весьма своеобразный эффект. Пока концентрация оставалась ниже некоторого порогового значения, скорость реакции была практически равна нулю, но так только чуть немного превышала пороговую, окисление шло бурно, со взрывом. В представления того времени о механизме реакций не укладывалась пороговая зависимость ни от концентраций, ни от температуры, и публикация вызвала резкую критику известного немецкого физикохимика М. Боденштейна. Тогда проблемой занялся руководитель лаборатории, где был обнаружен эффект, — Н. Н. Семенов. Он показал, что скачки скорости реакции являются результатом развития неустойчивости. Одна из причин неустойчивости — цепной ход химических реакций. Большинство из них не следует рассматривать как столкновение исходных молекул, которое непосредственно приводит к образованию продуктов, — вероятность такого прямого процесса слишком мала. Обычно при столкновении образуются промежуточные активные части-

цы — радикалы, ионы. Они вступают в новые реакции, в которых рождаются конечные продукты и опять-таки активные частицы. Концентрация частиц N растет со скоростью

$$dN/dt = aN - bN + c,$$

где aN — скорость размножения, bN — скорость гибели (обе эти величины пропорциональны числу существующих частиц). Активные частицы возникают не только за счет цепного размножения, но и под действием световых квантов и других факторов; c — скорость такого спонтанного зарождения.

Если $b > a$, возможно стационарное состояние при $N = c/(b - a)$. В противном случае концентрация частиц экспоненциально возрастает со временем и реакция приобретает характер взрыва. Так как коэффициенты a и b зависят от концентрации смеси, размеров сосуда и иных параметров, плавное изменение этих параметров в момент нарушения условия стационарности приводит к взрыву.

Семенов также показал, что в экзотермических реакциях может проявляться неустойчивость другого происхождения — тепловая. Выделяющееся в реакции тепло нагревает смесь, а так как при этом растет число быстрых молекул, способных преодолеть энергетический барьер, реакция ускоряется, тепла выделяется еще больше и т. д. Действует положительная обратная связь, и если отвод тепла в окружающую среду затруднен, возможен взрыв. Тепловой неустойчивости подвержены не только химические процессы. Мощность, рассеиваемая электрическим током на нагрузке с сопротивлением R , равна U^2/R , где U — приложенное напряжение. У полупроводников и диэлектриков сопротивление быстро падает с повышением температуры. Поэтому в них действует аналогичная обратная связь, и при достаточно большом напряжении ток лавинообразно нарастает — происходит пробой. Примерно такой же вид имеет цепочка причин, приводящих к тепловому взрыву. Как подчеркивал Семенов, проявления тепловой неустойчивости в самых разных процессах очень схожи между собой.

Реакция в замкнутом объеме рано или поздно заканчивается, система приходит в равновесие. Чтобы дольше наблюдать процессы и лучше понять их устройство, нужно создать условия, в которых неравновесное состояние поддерживается внешним воздействием. Например, все время подавать новую смесь в сосуд, где идет реакция, а продукты выводить наружу. Такую систему называют проточным реактором.

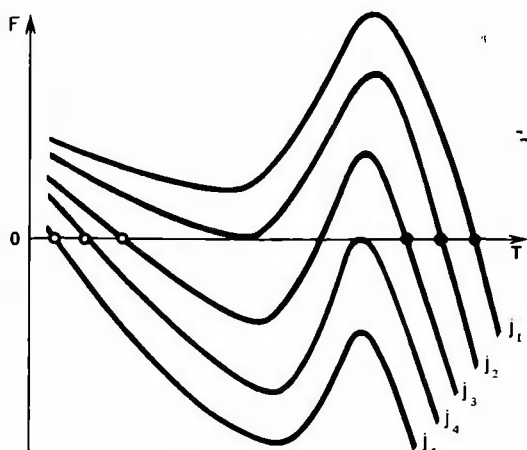
ПРОСТЕЙШИЕ РЕЖИМЫ ПРОТОЧНОГО РЕАКТОРА

Пусть T_0 — температура смеси, поступающей в реактор, а j — ее расход, количество вещества, пропускаемого через систему в единицу времени. Если реакция между компонентами смеси экзотермическая, то выходящий из реактора поток имеет температуру T , которая выше T_0 . Процессы внутри реактора проще всего изучать, предполагая мгновенное перемешивание всего, что в нем находится (точнее говоря, считая время перемешивания малым по сравнению с временем пребывания вещества в реакторе). Тогда температура в объеме также равна T . Ее изменение во времени описывается уравнением

$$dT/dt = F(T, T_0, j),$$

где F — разность мощностей выделения и отвода тепла, деленная на теплоемкость реактора. Часть выделяющегося при реакции тепла проникает наружу через стенки, остальное отводится потоком продуктов. Обе составляющие теплоотдачи линейно растут с повышением температуры в объеме реактора, тогда как температурная зависимость тепловыделения сложнее. Их соотношение в разных диапазонах температуры и определяет вид функции F . Пока температура невелика, выделение тепла незначительно, поскольку реакция идет очень медленно, и F остается убывающей функцией. Затем следует быстрый рост F , связанный с тепловой интенсификацией химических процессов. Но при высоких температурах реагенты расходуются практически полностью, тепловыделение достигает максимума, а теплоотвод продолжает расти, и величина F вновь падает.

Если в некоторый момент температура такова, что $F = 0$, то она остается постоянной — реактор работает в стационарном режиме. Из сказанного о функции F ясно, что в зависимости от значений j и T_0 уравнение $F(T) = 0$ может иметь либо один, либо три корня. При медленной подаче вещества корень один, вся смесь успевает вступить в реакцию, выход продуктов составляет почти 100 %, и температура стационарного режима высока. Если температура ниже стационарной, то $F > 0$ и реактор нагревается, если выше — остывает, так как $F < 0$. Иными словами, какой бы ни была начальная температура реактора, она со временем достигнет стационарного значения, как бы «притянется» к нему. Вот почему точку на оси T , соответствующую стационарному режиму,



Зависимость правой части уравнения $dT/dt = F(T, T_0, j)$ от температуры реактора T при различных значениях расхода смеси j (чем больше j , тем ниже расположена кривая). Стационарная точка (пересечение кривых с осью T) устойчива, если слева от такой точки $F > 0$, а справа $F < 0$. Пока расход мал, реактор обязательно выходит на режим горения (черная точка), но при $j = j_1$ стационарная температура скачком падает (белая точка) и реактор переходит в режим холостой прокатки. Обратный переход к горению при снижении расхода задерживается до $j = j_2$.

называют аттрактором (от англ. to attract — привлекать, притягивать), а сам режим — притягивающим.

Если расход j велик, корень снова один, но температура стационарного режима близка к T_0 : превращение не успевает произойти, состав смеси на выходе реактора практически такой же, как на входе. Этот низкотемпературный режим тоже является притягивающим. Однако в определенном интервале значений j уравнение имеет три корня. Это значит, что возможны оба режима — и низкотемпературный (холостая прокатка), и высокотемпературный (горение). Какой из них установится в результате эволюции, зависит от начальной температуры T , так что каждое ее значение принадлежит области притяжения того или иного режима. Граница областей притяжения — тоже стационарная точка (третий корень уравнения $F=0$), но эта точка неустойчива. Наглядной аналогией такой ситуации могут служить две долины с гладкими склонами, разделенные перевалом. Помещенный в любую точку камень скатится на дно одной из долин, а границей областей притяжения для него будет перевал.

Зависимость стационарной температуры реактора T от расхода j не везде плавная. Когда расход велик, эта температура близка к T_0 и по мере уменьшения j повышается незначительно. Но при падении расхода ниже

некоторого значения j_1 величина T возрастает скачком и низкотемпературный режим сменяется высокотемпературным. Вместе с тем плавное увеличение расхода не приводит к точному повторению событий в обратном порядке. Обратный переход к низкотемпературному режиму совершается при $j_2 > j_1$. Такое запаздывание перехода (гистерезис), очевидно, связано с возможностью существования при одном и том же j двух притягивающих режимов!

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МАКРОКИНЕТИКИ

Итак, проточный реактор из любого начального состояния выходит на один из притягивающих режимов. Этим замечательным свойством обладает не только он, но и любая система, поддерживаемая в неравновесном состоянии внешним воздействием. Воздействие, о котором часто говорят как о питании, может быть самым разным: пропускание электрического тока, облучение светом и т. д. В неравновесной системе идут необратимые процессы (например, трение), из-за которых память об исходном состоянии «стирается», и через некоторое время устанавливается режим, не зависящий от начальных условий. Этот режим и есть притягивающий, поскольку он одинаков для различных начальных состояний. Его характеристики зависят лишь от параметров системы — объема реактора, состава, температуры и расхода подающейся смеси и т. д.

Плавное изменение параметров приводит к плавному сдвигу характеристик режима, лишь пока он остается устойчивым. При некоторых значениях параметров устойчивость теряется. В знакомом нам случае неустойчивость возникает в результате слияния устойчивого и неустойчивого решений, но возможны и другие варианты потери устойчивости. Следствием такой потери является перестройка процессов в неравновесной системе — переход к новому притягивающему режиму, качественно отличающемуся от предыдущего.

Говоря о поведении неравновесных систем, нельзя умолчать о роли нелинейности. Для описания малых флуктуаций, накладывающихся на притягивающий режим, можно пользоваться линейным приближением. Но потеря устойчивости означает неограниченный рост части флуктуаций, так что линейное описание становится непригодным.

¹ Описанная выше картина несколько упрощена, в действительности особенности перестройки при изменении j могут быть более сложными.

Именно нелинейное взаимодействие нарастающих возмущений формирует новый режим, определяет его особенности.

Не следует думать, что притягивающие режимы обязательно стационарны. Многим знакома игрушечная птица, которая периодически меняет позу: опускает голову в стакан с водой и вновь ее поднимает. Такую игрушку можно построить на различных принципах. Простейший механизм ее действия таков². Внутри птицы скрыт фитиль, один конец которого укреплен в клюве, а другой выведен наружу в виде пышного хвоста. Когда голова опущена, вода поднимается по фитилю, пропитывает хвост, он становится тяжелее головы и опускается. Теперь хвост, куда прекратился доступ влаги, постепенно высыхает, голова перевешивает и вновь опускается в стакан. Далее все повторяется. Такие характеристики, как амплитуда и частота колебаний, зависят не от начального состояния, а только от параметров системы (размеров птицы, температуры и влажности воздуха в комнате). Периодический режим возможен только в некоторых пределах изменения параметров. Если, например, увеличить массу головы так, что она окажется тяжелее мокрого хвоста, колебания сменяются режимом стационарного испарения. Конечно, любой режим реализуется лишь в отсутствие равновесия. В частности, при влажности воздуха 100 % мокрый хвост не будет высыхать и колебания прекратятся.

Приблизительно в то же время, когда Н. Н. Семенов исследовал взрывную неустойчивость химических реакций, А. А. Андронов, опираясь на работы А. Пуанкаре, развил представления о колебательных притягивающих режимах (автоколебаниях). Известные примеры автоколебаний — ход часов и работа генератора несущей частоты в радиопередатчике. Пример пьющей птицы позволяет отметить, что наряду с такими привычными источниками питания, как свернутая пружина или аккумулятор, эту роль может играть даже стакан воды в атмосфере ненасыщенного пара. В 1943 г. Д. А. Франк-Каменецкий предсказал существование колебательных режимов работы проточного реактора. В 50-е годы Б. П. Белоусовым были открыты, а затем А. М. Жаботинским и другими исследованы периодические режимы каталитического окисления лимонной кислоты броматами. Как полагают биологи, изучение реакции Белоусова—Жаботинского

важно для понимания процессов в живых организмах. Сравнительно недавно развернуты интенсивные исследования хаотических притягивающих режимов. В таких режимах характеристики беспорядочно меняются относительно своих средних значений, причем отклонения не малы по сравнению с самими средними (типичный случай — установившееся турбулентное течение)³.

Прежде чем продолжить знакомство с притягивающими режимами, обратим внимание на одну особенность их реализации. До сих пор мы говорили о системах, неравновесное состояние которых поддерживается питанием. Без питания, когда неравновесная система либо замкнута, либо взаимодействует только с равновесной средой — термостатом, эволюция заканчивается тривиальным «притягивающим режимом» — тепловым равновесием. Теперь представим себе притягивающий режим, поддерживаемый питанием, и переменим точку зрения — включим источник питания в систему, после чего она станет замкнутой. Ясно, что равновесие будет достигнуто не ранее, чем иссякнет источник, так что интересующий нас режим просуществует определенное время. Для такой системы, как электронные часы, идущие, пока не разрядится батарейка, это очевидно. Однако статья Белоусова с сообщением о периодических изменениях окраски раствора в изолированном сосуде неизменно отклонялась редакциями журналов. Вероятно, химикам казалось, что переход к равновесию в замкнутой системе может быть только монотонным и затухающая реакция уже не разгорится вновь.

ПРОСТРАНСТВО ПАРАМЕТРОВ

Вернемся к проточному реактору. Как уже говорилось, изменения параметров сопровождаются переходами от одного притягивающего режима к другому. Полный набор значений параметров (расхода j , концентрации поступающей смеси, ее температуры T_0 и других), определяющий режим работы реактора, можно рассматривать как координаты в условном многомерном пространстве, которое называют пространством параметров. Каждому притягивающему режиму принадлежит участок такого пространства. Важно знать границы этих участков, так

² На практике этот механизм не используется, поскольку не позволяет добиться достаточно короткого периода колебаний.

³ О хаотических режимах см., напр.: Гапонов-Грехов А. В., Рабинович М. И. Хаотическая динамика простых систем // Природа. 1981. № 2. С. 54—65. Много интересных данных об этих режимах получено в численных экспериментах с ЭВМ, которые заслуживают отдельного рассказа.

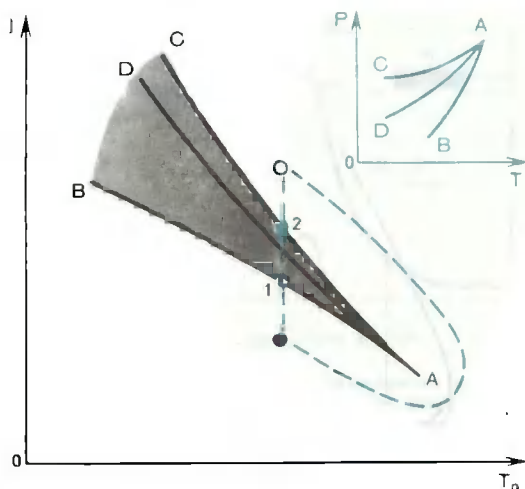
как именно на границах происходит перестройка режимов. Если, как и раньше, считать, что параметров два (j и T_0), то пространство параметров реактора будет двумерным и воспроизводимым на листе бумаги. Изменению параметров отвечает движение по некоторой линии на этом листе.

Две точки можно соединить, двигаясь разными путями. В частности, существуют переходы от холостой прокатки к горению и обратно, не сопровождающиеся скачками температуры и гистерезисом. Такие переходы похожи на непрерывное (без испарения) превращение воды в пар, которое можно осуществить, одновременно меняя давление P и температуру T по пути, обходящему критическую точку по фазовой диаграмме. Поскольку обходной путь нигде не пересекает линию равновесия фаз, нет скачков плотности, отвечающих испарению или конденсации. Если наряду с линией равновесия нарисовать на диаграмме линии потери устойчивости перегретой воды и переохлажденного пара, ограничивающие так называемую область бистабильности, в которой могут существовать обе фазы, то картина будет сильно напоминать рисунок на плоскости параметров реактора (j , T_0). Сходство не случайно: фазовые переходы — это вызванная изменением параметров термостата качественная перестройка состояния равновесия, тогда как смена одного притягивающего режима другим — это качественная перестройка процессов в неравновесной системе.

Непрерывный переход от воды к пару возможен благодаря одинаковой симметрии — в обеих фазах атомы расположены беспорядочно. Непрерывное превращение воды в лед, имеющий кристаллическую решетку, провести нельзя. Два режима реактора, о которых шла речь выше, тоже обладают одинаковой симметрией: оба они стационарны (температура не зависит от времени) и однородны в пространстве (температура одинакова во всех точках). Мы убедимся, что симметрия притягивающих режимов непосредственно влияет на границы в пространстве параметров.

СИММЕТРИЯ И ПЕРЕСТРОЙКА РЕЖИМОВ

Чтобы понять происхождение такого влияния, обратимся к тепловой неустойчивости тока, о которой упоминалось вначале. Неустойчивость обусловлена падением сопротивления с ростом температуры, характерным для полупроводников и диэлектриков. Пусть на такой резистор подано фиксированное напряжение U . Если ток



Часть пространства параметров проточного реактора. Высокотемпературный режим реализуется лишь ниже линии AC, а низкотемпературный — выше линии AB, так что есть область, в которой может существовать каждый из режимов — область бистабильности (заштрихована). Изменению расхода j при постоянной начальной температуре смеси T_0 отвечает перемещение по вертикальной линии. При движении от белой точки в точке 1 происходит скачок температуры — переход к режиму горения. При обратном движении вверх горение прекратится лишь в точке 2 (гистерезис), температура скачком упадет. Вместе с тем можно менять параметры по другому пути, обходя точку A, и тогда переход от низкотемпературного режима [белая точка] к горению [черная точка] не будет сопровождаться скачками температуры или каких-то других характеристик реактора. На цветной врезке приведена часть фазовой диаграммы воды и пара. Линия равновесия фаз AD заканчивается критической точкой A, область BAD соответствует перегретой воде, CAD — переохлажденному пару. В области бистабильности реактора тоже есть линия AD, задающая значения параметров, которые обеспечивают равновесие кинетических фаз, так что в разных частях реактора могут одновременно существовать и высокотемпературный, и низкотемпературный режимы.

случайно усилится, резистор начнет выделять больше тепла. Его температура повысится, а сопротивление упадет, и ток еще более возрастет. Рост тока и температуры продолжается вплоть до пробоя. Чтобы его избежать, последовательно с резистором включают не зависящее от температуры ограничительное сопротивление R . В этом случае ток в цепи не сможет превысить величину U/R , и пробой будет предотвращен.

В такой цепи наблюдаются лишь эффекты, уже знакомые по работе проточного реактора. В определенном интервале напряжений возможны два стационарных режима — высоко- и низкотемпературный. Если повышать напряжение, при некотором значении U_1 ток и температура скачком возрастают, а обратный переход задерживается до напряжения $U_2 < U_1$.

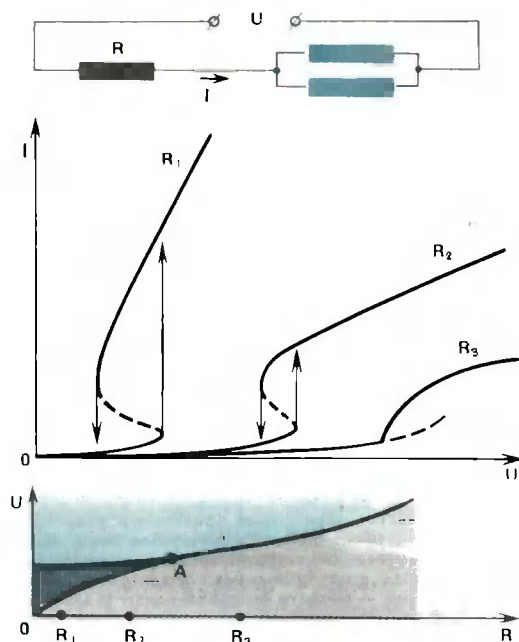


Схема электрической цепи, в которой возможно спонтанное нарушение симметрии, и семейство ее вольт-амперных характеристик. Сопротивления цветных резисторов одинаковы и быстро падают с температурой, ограничительное сопротивление R постоянно. Пунктиром показаны неустойчивые участки характеристик. Разные кривые соответствуют разным значениям R [$R_1 < R_2 < R_3$]. По мере роста R скачки и гистерезис уменьшаются, а затем и исчезают. Однако особенность на кривой остается, меняется лишь ее характер (излом вместо разрыва). Излом обусловлен мягкой перестройкой. Внизу показана плоскость параметров системы. Серая область отвечает симметричному режиму, цветная — несимметричным. Точка А — аналог трикритической точки в теории фазовых переходов: перестройка на границе устойчивости симметричного режима левее точки А происходит жестко, а правее — мягко.

Заменим теперь резистор двумя одинаковыми, включенными параллельно и имеющими такую же зависимость сопротивления от температуры. И в этой цепи низкотемпературный режим теряет устойчивость с ростом напряжения, однако перестройка происходит совершенно иначе. В низкотемпературном режиме через каждый из резисторов проходит половина полного тока, а температуры их одинаковы. Разрушение исходного режима сопровождается тем, что называют спонтанным нарушением симметрии. Нагревается только один из резисторов, и через него течет почти весь ток. Другой резистор шунтируется первым, так что его температура не растет, а падает. Конечно, если различия между резисторами до опыта настолько малы, что не могут быть обнаружены приборами, нельзя сказать зара-

нее, какой из них нагреется при развитии неустойчивости. Можно лишь утверждать, что в большом числе опытов случаев нагрева правого резистора будет примерно столько же, сколько левого. Симметрия цепи проявляется, так сказать, статистически.

Развитие неустойчивости ведет к асимметрии и в опытах на установке для исследования пробоя диэлектриков — пробивается не весь образец, а лишь его часть в виде канала, соединяющего электроды. Н. Н. Семенов указал, что локализация пробоя обусловлена сопротивлением подводящих проводов, которые играют роль малого R . Прделанные позднее расчеты полностью подтвердили эти качественные соображения.

Пока сопротивление R мало, скачок тока в момент потери устойчивости велик. По мере возрастания R величина гистерезиса при переходах между симметричным и несимметричным режимами, а также скачки тока уменьшаются до нуля. Такое «отмирание гистерезиса уже отмечалось в случае проточного реактора, у которого по мере изменения параметров область бистабильности сужается и затем исчезает. Возможен непрерывный (без скачков каких бы то ни было величин) переход между любой парой состояний реактора. Но между режимами различной симметрии, которые реализуются в цепи с параллельными резисторами, непрерывный переход невозможен: симметрия способна измениться только скачком. Поэтому, хотя сила тока может меняться непрерывно, ее производная по напряжению в момент перехода обязательно испытывает разрыв. Если R велико, то при U , близком к точке потери устойчивости, разность температур и токов резисторов мала, по мере увеличения U она растет. Такую перестройку режима называют мягкой, а перестройку, сопровождающуюся скачком тока, — жесткой. Из сказанного ясно, что мягкая перестройка возможна только для режимов различной симметрии, тогда как переход между режимами одинаковой симметрии либо жесткий, либо непрерывный, в обход критической точки.

Жесткая перестройка похожа на фазовый переход 1-го рода. Мягкая перестройка подобна фазовому переходу 2-го рода, который происходит только между фазами различной симметрии. При переходах 2-го рода энтропия непрерывна, а разрыв терпят ее производные — в частности, теплоемкость. В отличие от линии равновесия фаз линия переходов 2-го рода на фазовой диаграмме не может окончиться в некоторой точке. Однако она может соединиться с линией переходов 1-го рода в так называемой трикритической точке. Поскольку цепь с двумя

резисторами обнаруживает и жесткую, и мягкую перестройку, в плоскости параметров этой цепи (R, U) есть точка, которую можно считать аналогом трикритической. Область бистабильности соединяется в этой точке с линией мягкой перестройки.

Мы видим, что структура пространства — разбиение на области существования различных притягивающих режимов, расположение границ — содержит главную информацию о неравновесной системе. Как показывает разбор простейших случаев, этой структурой управляет симметрия системы.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ПРОЦЕССОВ

До сих пор мы почти не говорили об изменениях температуры, плотности, скорости движения и прочих характеристик среды при переходе от одной точки системы к другой. В равновесии таких изменений нет, тогда как в неравновесных условиях они могут быть значительными. Если учет этих изменений необходим для описания процессов в данной системе, ее принято называть распределенной. Притягивающие режимы в распределенной системе, вообще говоря, неоднородны: температура и другие величины зависят не только от времени, но и от координат. Неоднородные распределения, присущие тому, или иному притягивающему режиму, устанавливаются в ходе эволюции из любого начального состояния и тем самым являются выделенными. Иначе говоря, с каждым неоднородным притягивающим режимом связана определенная пространственная структура.

Простейшие структуры можно обнаружить, вновь рассматривая проточный реактор. Конечно, чтобы получить пространственную неоднородность, нужно отказаться от модели идеального перемешивания. Скажем, если реактор сильно вытянут в каком-то направлении, перемешиванием в этом направлении можно пренебречь.

Плоскость параметров реактора (j, T_0) выше сравнивалась с фазовой диаграммой системы «вода — пар». Линия равновесия фаз на этой диаграмме определяет те наборы значений P и T , при которых возможны неоднородные состояния: часть объема занята жидкостью, другая — паром. Как только точка (P, T) , соответствующая состоянию системы, сместится с линии равновесия, одна из фаз окажется метастабильной. Молекулы вещества начнут переходить из нее в равновесную фазу через поверхность раздела. Это означает, что объем равновесной фазы будет расти, а межфазная граница дви-



Распределение температуры в движущейся слева направо волне горения. В температурном профиле ярко проявляется зонная структура волны. В зоне превращения протекает интенсивная реакция; выделяющееся при этом тепло поступает как вперед, в зону нагрева, где оно в основном поглощается смесью, так и назад, в зону охлаждения, откуда уходит в окружающую среду. Черная линия показывает плотность мощности тепловыделения химического источника.

гаться, пока метастабильная фаза не исчезнет. Если давление ниже равновесного, идет испарение перегретой жидкости, если выше — конденсация переохлажденного пара. Чем ближе точка (P, T) к линии равновесия фаз, тем ниже скорость движения межфазной границы.

Вытянутый реактор может находиться в состоянии, похожем на сосуществование разных фаз. В одной его части идет горение, в другой — холостая прокачка, эти области разделяет аналог межфазной границы — сравнительно узкий переходный участок, в котором сосредоточен перепад температуры. Вообще говоря, этот пограничный участок движется, направление и скорость движения зависят от j и T_0 . Условие обращения в нуль скорости пограничного участка определяет связь $j(T_0)$ — своего рода линию равновесия фаз в пространстве параметров.

Будь в реакторе только такие движения границы, аналогия с фазовыми переходами была бы полной. Но при тех же значениях j и T_0 , которые допускают движение волны перехода из одного режима в другой, возможно распространение уединенной волны иного типа — волны горения. Такая волна питается уже имеющимся веществом, и для нее приток свежей смеси является как бы второстепенным фактором. Сильный нагрев вещества волной горения создает условия для того, чтобы позади нее установился высокотемпературный режим. Поэтому каждый из режимов, захвативших различные части реактора, может иметь неоднозначное будущее. Пусть значения j и T_0 таковы, что волна перехода движется в сторону горячей области и уничтожает ее. Но в тех же условиях

можно возбудить волну горения, которая распространяется горячую область на весь объем реактора. В случае системы «вода — пар» дело обстоит иначе: метастабильная фаза, вступая в контакт с равновесной, в результате движения поверхности раздела непременно исчезает. Для проточного реактора, как и для всех систем, поддерживаемых питанием в неравновесном состоянии, в области бистабильности нельзя сказать, какой из притягивающих режимов более, а какой менее устойчив. Если же питания нет, метастабильное состояние всегда можно отличить от равновесного — у последнего энтропия больше.

Рассмотренные выше уединенные волны принадлежат к простейшим из неоднородных притягивающих режимов. Но одна существенная особенность — структурирование — видна даже в них. Волна горения, например, состоит из трех зон — прогрева, превращения и остывания. Трехзонная структура не задается извне, она как и другие притягивающие режимы¹, формируется сама собой. Структура функциональна, и разделение на зоны связано с «работой», которую каждая из них выполняет. Когда химическое превращение сопровождается фазовыми переходами или протекает в несколько стадий, могут возникнуть более сложные структуры, при этом функциональность проявляется еще ярче. Специфическую зонную структуру обнаруживают и другие уединенные волны, например нервные импульсы или фронты ионизации, поддерживаемой лазерным лучом.

До сих пор речь шла о волнах, которые в однородных условиях движутся равномерно. Режим равномерного распространения устойчив, естественно, не при всех параметрах. В частности, характерная для твердых веществ малая скорость диффузии способствует развитию автоколебаний, при которых движение волны горения с постоянной средней скоростью сопровождается периодическими изменениями мгновенных значений скорости, температуры и других величин. Помимо однородных колебаний, наблюдаются спиновые режимы (движение очага реакции по винтовой линии вдоль горящего образца) и даже нерегулярные пульсации одного или нескольких очагов. На обложке приведена фотография диска из железистокониевого термита, по которому прошла вол-

на горения такой сложной структуры. Диск был подожен в центре, очаг реакции двигался по раскручивающейся спирали. Прерывистая темная полоса — след активных стадий горения, чередовавшихся с частичным затуханием реакции. Этот режим исследовался А. В. Дворянкиным, А. Г. Мержановым и А. Г. Струниной.

А. М. Жаботинским, а затем и другими исследователями был обнаружен целый ряд неоднородных притягивающих режимов реакции Белоусова — расходящиеся круговые волны, вращающиеся спирали и другие. Подобные режимы в распределенных системах Р. В. Хохлов предложил называть авто-волнами. Давние традиции изучения неоднородных режимов имеются в гидродинамике. В частности, показано, что неустойчивость ламинарного течения в зазоре между соосными цилиндрами, один из которых вращается относительно другого, приводит к рождению системы правильно расположенных вихрей. С ростом частоты вращения течение постепенно усложняется, а затем и турбулизуется. Другой пример: в плоском слое подогреваемой снизу жидкости развивается конвекция, и переносящие тепло вихри также выстраиваются в правильную решетку, причем при достаточно интенсивном нагреве и здесь наступает турбулентный режим. В настоящее время большое внимание теоретиков и экспериментаторов привлекают хаотические режимы и условия их рождения из регулярных.

МНОГОЕ ЛИ МОЖЕТ КИНЕТИКА?

Каждая неравновесная система демонстрирует свое сочетание процессов — гидродинамических, тепловых, химических, электрических и т. д. Поэтому уравнения, описывающие эволюцию разных систем, вообще говоря, различны. Хотя в рамках отдельных научных направлений бесконечное многообразие необратимых процессов изучается давно, только благодаря представлениям о притягивающих режимах и их перестройке объединение всех этих направлений в макроскопическую кинетику приобретает смысл и перестает быть чисто формальным.

В 1947 г. вышла из печати книга Д. А. Фрэнк-Каменецкого «Диффузия и теплотеплопередача в химической кинетике», предисловие к которой написал Н. Н. Семенов. В ней были проанализированы известные к тому времени притягивающие режимы и варианты их перестройки в химических процессах, указано, что изучение взаимного влияния реакций и тепломассообмена⁵ следует рас-

¹ Хотя в реакторе волна горения — это бегущая граница двух притягивающих режимов, ее собственные характеристики после достаточно долгого пути перестают зависеть от первоначальных значений, и потому сама по себе она также является притягивающим режимом.

смазывать как самостоятельную научную область — макрокинику химических реакций. Одно из важнейших следствий такого взаимного влияния в том, что данная реакция, как правило, протекает по-разному в химической лаборатории и в промышленных или природных условиях. Скорость реакции, как мы знаем, зависит от концентраций реагентов и температуры, распределение этих величин в пространстве зависит от условий перемешивания, на перемешивание влияет реакция, так как вязкость смеси зависит от ее температуры и состава и т. д. Чем больше объем реактора, тем, вообще говоря, сложнее клубок взаимных связей.

Несмотря на очевидную перспективность макрокинетических исследований, в послевоенное время они не смогли получить должного развития. Многие из тех ученых, чей вклад на начальном этапе был решающим, перешли на другую, жизненно важную в тот момент для страны тематику. Интересность работы в области макрокинетики возросла лишь в 60-е годы, когда в Институте химической физики начала формироваться группа, составившая основу образованного в 1987 г. Института структурной макрокинетики АН СССР. В частности, были проведены исследования колебательных и спиновых режимов горения, тепловой неустойчивости вязких течений, уединенных волн в проточном реакторе. Приблизительно в тот же период шло изучение различных режимов реакции Белоусова.

Сегодня макрокинетическая тематика стала предметом массового внимания. Основные особенности систем с источником питания — выход на тот или иной притягивающий режим из любого начального состояния, качественная перестройка режима при определенных критических условиях — производят сильное впечатление. По-видимому, именно этим вызвано появление таких образных терминов, как «самоорганизация» (И. Пригожин), «синергетика» (Г. Хакен), «теория катастроф» (Р. Том).

Очевидно, макрокинетика должна быть той теоретической основой, на которой строить свою деятельность конструктор и технолог. В действительности до этого пока далеко. Одно дело — объявить, что производственные процессы подчиняются уравнениям макрокинетики, и совсем другое — получить их решения для конкретного реактора. Ведь для этого необходимо интегрировать системы нелинейных уравнений в частных производных, что не так просто. Нередко на-

дежды возлагают на численные расчеты с помощью ЭВМ. Но задачи, о которых идет речь, содержат много параметров, причем плавная зависимость решений от параметров нарушается при каждой перестройке. Эти обстоятельства чрезвычайно затрудняют получение надежной и полной информации из численных расчетов.

Пока в практике почти безраздельно господствует эмпирический подход. Пример его достижений — технология доменной выплавки чугуна, включающая комплекс реакций, фильтрацию газов и жидкостей, фазовые переходы. Может показаться удивительным, что удалось отладить такой процесс без детального знания его механизма и построения математической модели. Однако биологический естественный отбор умеет конструировать гораздо более сложные и совершенные системы, вовсе не обладая разумом. Вероятно, технологи могли бы и в дальнейшем обходиться методом проб и ошибок. Но нельзя не учитывать и сроки, затраты, эффективность.

Еще раз подчеркнем, что роль притягивающих режимов в судьбе неравновесной системы любой сложности одинакова. В этой связи уместно обратить внимание на сходство разветвленных цепных реакций и биологического размножения: эти явления описываются однотипными уравнениями. Сейчас обострилось общественное внимание к негативному влиянию хозяйственной деятельности на природу, горячо обсуждаются экологические проблемы. Так как прекратить хозяйственную деятельность нельзя, то, кроме патетических дискуссий и волевых решений, видится один выход — «рассчитать» возможные режимы природных систем и условия их реализации. Только у макрокинетики есть шансы справиться с такими задачами.

Уместен вопрос: пока не проведен макрокинетический анализ большинства производственных процессов, стоит ли говорить о несравненно более трудных задачах, касающихся природных систем? Но практические действия, в том числе крупномасштабные и дорогостоящие, уже предпринимаются, обоснованные рекомендации нужны теперь, а не в отдаленном будущем. Ситуация не так уж нова. И раньше были проблемы, которые казались неразрешимыми... до своего решения. Мы не стремимся затушевывать исключительные трудности на этом пути. Однако макрокинетические исследования промышленных и природных процессов лучше всего вести совместно. Тогда опыт работы с относительно простыми системами может быть эффективно использован по отношению к сложным.

⁵ Этим термином называют диффузию, теплопроводность, конвективное перемешивание и другие подобные явления.

П. М. Рафес
Ю. И. Гниненко

Эволюция БЕРЕЗОВОЙ ПЯДЕНИЦЫ



Павел Михайлович Рафес, доктор биологических наук, более 30 лет работал в Лаборатории лесоведения АН СССР. Автор книг: *Роль и значение растительноядных насекомых в лесу*. М., 1968; *Биогеоценологические исследования растительноядных лесных насекомых*. М., 1980. В «Природе» опубликовал статью: *Популяция и биогеоценоз* (№ 5, 1972).



Юрий Иванович Гниненко, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией защиты и охраны леса Казахского научно-исследовательского института лесного хозяйства и агролесомелиорации. Автор ряда работ по экологии лесных насекомых и по защите от вредителей лесов Зауралья и Северного Казахстана.

НЕОБЫЧАЙНО разнообразный мир бабочек, или чешуекрылых (около 140 тыс. видов), всегда привлекал профессионалов-энтомологов и коллекционеров-любителей, считающих красоту этих насекомых. Многие бабочки служили и служат биологической науке не только в качестве объекта классической зоологии. Среди них есть и хозяйственно полезные виды, гусеницы которых плетут шелковые нити, и много злостных вредителей. Разведение полезных бабочек и борьба с вредными немислимы без глубокого и всестороннего их изучения. Березовая пяденица удостоилась особого внимания энтомологов, эволюционистов, генетиков. Почему ей выпала такая честь и почему авторы снова обращаются к пяденице, давно ставшей классическим примером микроэволюции? Дело в том, что мы видим возможность на примере этой бабочки проследить ход крупных эволюционных преобразований, длящихся около 10 тыс. лет.

Карл Линней в знаменитой «Системе природы» причислил героиню нашего повествования к роду *Phalaena*, а вид назвал *betularia* — березовая¹. Сейчас после уточнения ее именуют *Biston betularius* и относят к семейству пядениц (*Geometridae*). Название семейства, по существу, дано не бабочкам, а гусеницам за необычную манеру передвижения. Крепко держась передними ножками за ветку, гусеница подтягивает к ним задние, выгибая тело дугой, затем, оторвав передние, вытягивает тело вперед и хватается ими снова. Гусеница как бы отмеряет пядь за пядью. Линней называл этих гусениц *geometra* — меряющая землю, землемер.

Обычно березовая пяденица появляется на свет в мае. В конце дня бабочки выползают из лесной подстилки, где зимовали куколками и, взобравшись на стволы, расправляют крылья и сушат их. В неподвижности сидят бабочки, опустив крылья, до сумерек, так же проводят они и дальнейшие дни своей жизни, спасаясь от дневных птиц.

¹ Linnaeus C. // *Systema naturae*. 1758. Vol. 1. P. 2. P. 521.



Березовый лес в Челябинской обл., где найдены все цветочные формы березовой пяденицы. Здесь и далее фото П. М. Рафеса.

Летают в основном самцы, которые для спаривания по запаху отыскивают неподвижных самок. Репродуктивный период в популяции длится с мая по июль. В трещины коры каждая самка откладывает от 200 до 2000 яиц. Через месяц из них появляются гусеницы, которые после интенсивного питания окукливаются и становятся бабочками.

Если принять, что каждая пяденица откладывает в среднем 1000 яиц, а кладок на одном стволе бывает несколько, станет ясно, что листьев для питания гусениц может не хватить. На заре формирования вида большинство гусениц, вероятно, погибало от голода, чаще выкармливались те, которых ветер заносил на другие березы. Так выработался и передается по наследству инстинкт расселительного полета: новорожденная гусеница, добравшаяся до конца ветви, выпускает паутинку и повисает на ней, а малейшее дуновение переносит ее с родной кроны на соседнюю. Если и там не удастся зацепиться, гусеница падает в траву и добирается до любой другой березы.

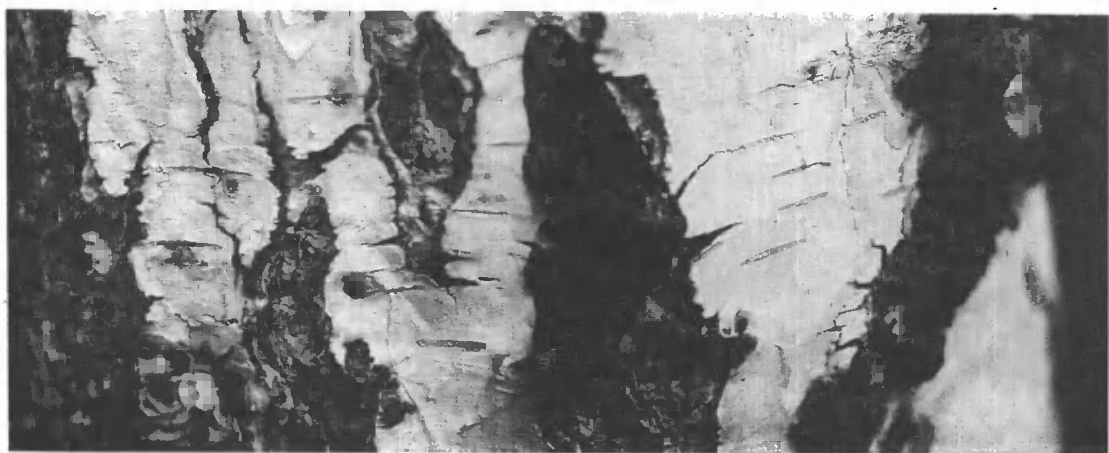
А. Н. Казанскому, пытавшемуся выкормить новорожденных гусениц на букетах из

ветвей, удалось экспериментально доказать эту повадку². Гусеницы, посаженные на ветвь, ползли к ее верхушке и, «спрыгнув» с последнего листа, повисали на паутинках, но, поскольку не было ветра, не могли перелететь. Сколько бы ни сажал экспериментатор гусениц снова на ветви, повторялось то же самое. Не совершив перелета, а потому не начав питаться, гусеницы погибали.

Выкормившиеся гусеницы падают в траву, закапываются в подстилку, окукливаются и так зимуют. Если они не успевают выкормиться до листопада, то погибают, не окуклившись; гусеницы, не достигшие нужной упитанности, могут и окуклиться, но не стать бабочками или превратиться в неспособных давать потомство.

Березовая пяденица обитает по всему ареалу своего главного кормового растения — березы повислой (*Betula pendula*) — от западных берегов Европы (включая Британские о-ва) до Японии включительно. На севере Азии, а также южнее Черного и Кас-

² Казанский А. Н. // Тр. НИИ защ. растений Академии с/х наук КазССР. 1958. Т. 4. С. 152—159.



Окраска березовой пяденицы всегда покровительственная.



На одной березе могут отложить яйца несколько бабочек, и тогда на стволе окажутся гусеницы разного возраста.



Во время массового размножения березовой пяденицы листья березы становятся ажурными. Здесь можно увидеть гусениц, притворявшихся сучком и приготовившихся к прыжку с объеденного листа.

пийского морей березняков нет, но они проникли в некоторые места Кавказа и увлекли за собой пяденицу.

Тело и крылья этой бабочки белые, усыпаны мелкими черными крапинами и ломаными полосами. Яркость их зависит от количества вырабатываемого в организме пигмента меланина: мало пигмента — пяденицы выглядят почти белыми, много — пятна и полосы сливаются и бабочки становятся черными. Любая окраска пядениц — покровительственная, на березе их трудно заметить, поскольку светлые бабочки сливаются с фоном белой коры, а черные похожи на пятна, которых на коре много.

В большинстве популяций березовой пяденицы в Евразии встречаются в различных соотношениях все варианты окраски от почти белой до черной, и лишь на Британских островах до середины прошлого века повсеместно была распространена только белая с крапинами. Затем стали попадаться черные, а потом серые особи. Возникло и стало общепризнанным мнение, что причина появления меланистов — индустриальная. Но оставим в стороне меланизм, а проанализируем ход эволюционного формирования березовой пяденицы как вида.

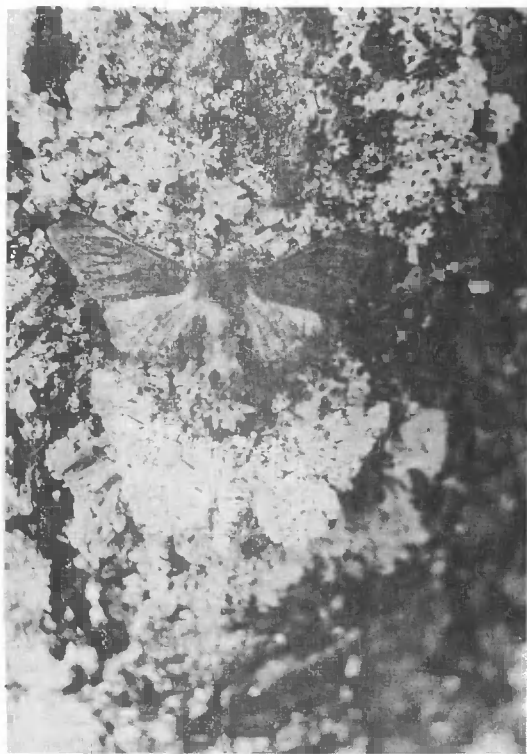
Видимо, еще у предков пяденицы возник набор ферментов, которые переваривали ткани именно березового листа;

полноценное питание обеспечило самкам высокую плодовитость³. Отсутствие примеси в березняках объясняет возникновение у гусениц «расселительного полета»: ненароком упав с одной березы или «спрыгнув» с нее при встрече с соперницей, они неминуемо попадали на другую березу. Значит, пищей они всегда были обеспечены. Покровительственная окраска, дневная неподвижность бабочек, способность гусениц маскироваться под березовый сучок вырабатывались тоже в чистых березняках, без примеси других древесных пород.

Итак, благополучие вида на материке было связано с березой, только она и служила пищей гусеницам в подавляющем большинстве популяций. Однако некоторые советские и зарубежные исследователи относят эту бабочку к всеядным, основываясь на том, что во время массовых размножений гусеницы набрасываются на другие лиственные породы. Действительно, на территории нашей страны обнаружены две популяции пяденицы, существующие не на березе, но сформировавшиеся в ее ареале⁴. Одна попу-

³ Ковалевская Н. И. // Журн. общ. биол. 1977. Т. 38. № 2. С. 237—244; Она же // Вopr. общ. энтомол. Тр. Всес. энтомол. об-ва. 1981. Т. 63. С. 191—193.

⁴ Коломеец Н. Г., Хлонов Ю. П. // Тр. по лесн. хоз-ву Сибири. 1960. Вып. 4. С. 165—167.



Перчатая бабочка с Британских о-вов, ставшая здесь всеядной. Разные цветовые формы встречаются на деревьях, лучше скрывающих бабочку: в сельских местностях на стволах, покрытых лишайниками, обитает



типичная светлая форма, а на закопченных стволах в индустриальных районах живут бабочки-меланисты. Фотография любезно предоставлена Э. Макфедьеном.

ляция — в карагандинском дендропарке (чисто тополево-массиве), другая — в кузнецовском «липовом острове» в Горной Шории. Вероятно, эти популяции возникли в результате залета бабочек или заноса их ветрами из березняков. Здесь пяденицы настолько приспособились к жизни на новых кормовых растениях, что дали вспышку размножения в 1948—1950 и 1957—1958 гг.

На Британских о-вах гусеницы березовой пяденицы и в самом деле выкармливаются на всех древесных видах и превращаются в бабочек, которые дают нормальное потомство. Причиной считается оторванность от материка, сказывающаяся на развитии растительного мира этих островов, которое можно проследить по «Истории британской флоры»⁵. В ней раскрыт ход геологических изменений, которые в течение 10 тыс. лет формировали британскую флору. Северо-западная оконечность европейской суши, освободившаяся от ледников послед-

него (вислинского) оледенения, заросла травами, а затем покрылась лесами, в которых преобладала береза. Появилась там и березовая пяденица, обитавшая по всей Евразии. С дальнейшим потеплением в березовые леса проникли сосна и лещина, потом — ильм и дуб, которые стали главными лесными породами. На отделенных затем от Европы водами Атлантического океана Британских о-вах стали распространяться ольха и липа, граб и бук. Сейчас в большинстве британских лесов смешаны ольха, береза и дуб, встречается в них и бук. С изменением лесов пяденица была вынуждена стать всеядной. Как могло это произойти?

В течение последних тысячелетий условия произрастания березы почти все время ухудшались (повышалась влажность климата и почвы, увеличивалось количество болот), что вызвало понижение питательности листьев для гусениц пяденицы. Вместе с тем эти условия становились благоприятными для пород, семена которых заносились извне. Угнетение березы, а затем вытеснение ее, конечно, не могло не отразиться на питании

⁵ Godwin H. The History of the British Flora. A Factual Basis for Phytogeography. Cambridge, 1975.

гусениц. Некоторые из них при расселении попадали или на угнетенные березы, чьи листья «потеряли вкус», или на другие виды деревьев, чуждые им по кормовым качествам, но, не начиная питаться и истощая энергию на повторные перелеты, большинство из них погибло. Погибали и те, которых голод, постепенно подавивший инстинкт поиска, заставил поглощать неперевариваемую пищу. Лишь единицам рано вышедших из яиц и наиболее выносливых гусениц удавалось выкормиться на неполноценном корме, затрачивая на его усвоение много времени и энергии. Их потомки и стали постепенно всеядными.

Несмотря на переход к всеядности, у гусениц сохранился видовой предковый признак — инстинкт расселительного полета.

Мы уверены, что в период приспособления к изменившимся условиям могли выработаться предпочтения к типам лесных биогеоценозов, а в них — к тем или иным древесным породам. Эти предпочтения сейчас завуалированы, но все же их можно выявить. Например, можно собирать куколок, зимующих в подстилке под кронами разных видов и выводить бабочек, а затем воспитывать их потомство, чтобы убедиться, предпочитают ли гусеницы какой-либо один вид или способны усваивать листья любых деревьев. Вероятно, помог бы в этом также биохимический анализ пищи и ферментных систем гусениц. Но пока таких данных нет.

Вернемся теперь к изменению окраски пяденицы на британских о-вах, замеченному в середине XIX в.

В вышедшем в начале нашего века руководстве по британским чешуекрылым подробно описана окраска пяденицы и подчеркнута, что для большинства британских популяций типична нечеткость рисунка: на белом фоне заметна лишь черная крапчатость⁵. Поэтому англичане прозвали бабочку перченой (Peppered Moth). На фоне лишайников, растущих на стволах деревьев, бабочка такой окраски незаметна. Но во второй половине прошлого столетия в окрестностях Манчестера — крупного индустриального центра — все чаще стали попадаться черные особи, у которых цвет туловища, передних крыльев и большей части задних из белого превратился в черный. Пятна, линии, крапины и прочие детали рисунка слились воедино, и лишь у основания передних крыльев, и то не у всех бабочек, остались белые пятнышки. По мере развития промышленности в Англии, а также в ряде

стран на материке черных бабочек становилось все больше, среди них стали попадаться и серые. Черных особей перченой бабочки наименовали угольными (carbonaria), а серых — островными (insularia). Почернение пяденицы, а вслед за тем и других видов чешуекрылых назвали индустриальным меланизмом.

Промышленное загрязнение воздействовало на жизнь даже отдаленных от заводов биогеоценозов, повлекло за собой изменения у всех организмов, в том числе и у перченой бабочки, вызвало ее микроэволюцию. Индустриальным меланизмом заинтересовались генетики, он дал пищу для размышлений многим исследователям.

При скрещиваниях бабочек разных форм окраски выявилась доминантность угольной: ее признаки передаются потомству, даже если один из родителей относится к другим формам. Островная форма доминирует только над типичной формой. Выявленная доминантность послужила известному английскому эволюционисту Дж. Б. Холдейну основанием для создания математической теории распространения меланизма⁷. Основатель популяционной генетики, советский энтомолог С. С. Четвериков предсказал, что черные особи березовой пяденицы вытеснят светлых из всей Евразии⁸. Исследования британских популяций перченой бабочки легли в основу разработанной Э. Б. Фордом экологической генетики и теории развития меланизма Г. Б. Кеттлуэлла⁹.

Кеттлуэлл изучал поведение и условия существования перченой бабочки, проводил эксперименты и по результатам сформулировал представление о решающем воздействии птиц на распространение разных ее форм. По Кеттлуэллу, в лесах, не подвергающихся промышленным загрязнениям, может обитать только типичная форма, а в наиболее закопченных (где погибают лишайники и все другие растущие на стволах организмы) — только угольная, ибо не имеющих защитной окраски бабочек уничтожают птицы. Островная форма свойственна менее загрязненным лесам, в которых выживают более устойчивые лишайники и зеленые водоросли плеврококки.

Однако позже многие исследователи обнаружили, что в большинстве популяций перченой бабочки смешаны особи всех трех

⁷ Haldane G. B. S. // Trans. Camb. Phil. Soc. 1924. Vol. 23. P. 19—40.

⁸ Четвериков С. С. // Журн. эксп. биол. 1926. Сер. А. Т. 2. Вып. 1. С. 3—54.

⁹ Ford E. B. Ecological Genetics. L., 1975; Kettlewell G. B. H. Evolution of Melanism. Oxford, 1973.

⁵ Barrett C. G. The Lepidoptera of the British Islands. Vol. 7. L., 1901.

форм¹⁰. При этом численность только угольной формы связана со степенью загрязненности среды промышленными выбросами, численность же островной формы, который обычно больше, чем угольной, обусловлена какими-то неизвестными причинами.

Одна из особенностей британской природы — редкость массовых размножений вредителей леса — сказалась в том, что многие британские энтомологи не уделяют внимания поведению гусениц, а наблюдают лишь за бабочками. Соотношение разных форм они объясняют либо генетическими особенностями, либо воздействием птиц, либо степенью загрязнения среды. Не осталась ли незамеченной эволюционная сущность превращения березовой пяденицы — исходного монофага (организма, потребляющего только один вид пищи) Евразии — во всеядную перченую бабочку на Британских о-вах?

На наш взгляд, британские энтомологи слишком поздно обратились к экологическим особенностям перченой бабочки, ведь сейчас различно окрашенные формы обитают во

всех условиях совместно. Заметим, кстати, что такие формы березовой пяденицы обнаружены и на территории нашей страны и представлены в коллекции Зоологического музея Московского государственного университета.

Благодаря покровительственной окраске в заповедных лесах стали выживать темные формы, свойственные некоторым особям перченой бабочки, птицы же послужили рычагом естественного отбора, выбросившим из популяций светлых бабочек. Может быть, не только на Британских о-вах эволюция пяденицы привела к образованию трех ее фенотипических форм? К сожалению, у нас нет сейчас сведений, какие формы березовой пяденицы имеются в тех местах нашей страны, где гусеницы питаются тополевыми или липовыми листьями. Не исключено, что их приспособление к новой пище шло по тому же пути, как и на Британских о-вах.

Чтобы проверить предлагаемую нами точку зрения, необходимы тщательные энтомологические и генетические исследования перченой бабочки и березовой пяденицы, т. е. популяций, существующих на Британских о-вах, прилегающей материковой части Европы и на обширных пространствах нашей страны.

¹⁰ См. напр.: Bishop J. A., Cook I. N. // *Edv. Ecol. Research*. 1980. Vol. 11. P. 373—404; Cook I. M., Mani G. S., Varley M. E. // *Science*. 1986. Vol. 231. No 4738. P. 611—613.

НОВОСТИ НАУКИ

Охрана природы

Потору попал в беду

Несколько лет назад зоологи с удивлением обнаружили дотоле неизвестное животное — потору длинноногого (*Potorous longipes*). Это небольшое сумчатое, вид кенгуровой крысы, обитающее в эвкалиптовых лесах на юго-востоке австралийского штата Новый Южный Уэльс. В наши дни находка нового млекопитающего — большая редкость. За все время наблюдений удалось за-

метить лишь 21 особь этого животного.

Сейчас большую тревогу вызвало сообщение австралийских исследователей о том, что над потору длинноногом нависла серьезная опасность, связанная с тем, что эвкалиптовые леса Нового Южного Уэльса в широких масштабах вырубают. А без эвкалипта потору грозит смерть. Причем не только новооткрытому длинноногому, но и ранее известному и более многочисленному его близкому родственнику длинноному трехпалому, которого еще называют настоящей кенгуровой

крысой (*R. Tridactylus*). Особенно опасен для потору огонь, который лесорубы разводят на вырубках, чтобы уничтожить подлесок.

Вокруг проблемы охраны потору разгорелась активная общественная кампания.

New Scientist. 1988. Vol. 118. No 1614. P. 31 (Великобритания).

САМООРГАНИЗАЦИЯ В РАЗВИТИИ ЗАРОДЫША

Б. Н. Белинцев

К сожалению, автор публикуемой ниже статьи не увидит своей работы. Борис Николаевич Белинцев, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Института молекулярной биологии АН СССР, скоропостижно скончался 30 апреля 1988 г. в возрасте 35 лет. Это критический возраст для больших талантов.

Будучи физиком-теоретиком, Белинцев посвятил свои знания и талант важнейшим проблемам современной биологии. Его первые студенческие работы в Московском физико-техническом институте были связаны с изучением свойства сверхспирализованной ДНК. В последующие годы интерес его был обращен к вопросам эволюции и онтогенеза.

Глубокое и оригинальное понимание сущности биологических процессов, блестящее владение аппаратом теоретической физики и широкие биологические знания позволили Белинцеву предложить несколько важных теоретических моделей, способствующих решению спорных биологических вопросов. Так, созданная им в 1977 г. мо-



дель, в которой видообразование рассматривается как фазовый переход, имеет первостепенное значение для современной теории эволюции. Модель возникновения пространственной упорядоченности (1979) выявляет условия устойчивости

структур на границе морфогенетического поля, что чрезвычайно важно для изучения морфогенеза. Теория крупномасштабной структуры клеточного поля, формирующего онтогенез (1987), дает убедительную трактовку важнейших моделей морфогенетического развития.

Эти работы Белинцева, прекрасно согласующиеся с основными направлениями современной теоретической физики неравновесных диссипативных систем и современной теоретической биологии, получили широкое признание у нас и за рубежом.

В статье «Самоорганизация в развитии зародыша», написанной специально для «Природы», автор попытался физически описать механизм сложнейшего биологического процесса — развития зародыша. Предложенная модель, безусловно, отражает ряд важных аспектов онтогенеза и может быть предметом серьезного изучения.

Член-корреспондент АН СССР
М. В. Волькенштейн

НИ ОДНА конструкция, созданная человеком, не может конкурировать по сложности решаемых задач с самой заурядной плодовой мушкой. Одна из таких задач — создание себе подобных. Каким образом яйцеклетка и сперматозоид, объединяясь, дают зародыш, из которого развивается взрослый организм? До настоящего понимания этих процессов еще очень далеко.

Известно, что вся исходная информация, на базе которой строится и функционирует организм, закодирована в виде уникальной последовательности нуклеотидов — субъединиц ДНК. Клетки различных органов работают по-разному (одни секретируют гормоны, другие проводят сигналы и т. п.) в конечном счете потому, что в них «вклю-

чены» разные фрагменты ДНК — гены. Рано или поздно молекулярная биология выяснит, как включаются различные гены и как это приводит к формированию по-разному специализированных клеток взрослого организма. Но только ли в этом состоит проблема?

Дело еще и в том, что активность клеток в развивающемся зародыше (включение нужных генов, синтез необходимых белков и т. д.) должна появиться в свое время и в своем месте. Эту задачу решают эмбриологи — они могут довольно точно указать ту область зародыша, из которой в определенное время начинают формироваться глаз, конечность и т. п. Но каким образом «узнает» об этом сам зародыш,

иными словами, как организуется макроскопический порядок при морфогенезе? Здесь есть ряд проблем, для решения которых целесообразно использовать не только биологические, но и физические подходы.

Понимая, что все начинается с одной клетки — оплодотворенного яйца, естественно спросить: в какой мере конечный результат всего развития предопределен этим началом? Этот вопрос далеко не прост. С одной стороны, из известного факта сходства однояйцевых близнецов прямо следует, что одинаковые начальные состояния (клетки однояйцевых близнецов являются точными генетическими копиями) и развитие в одинаковых условиях дают одинаковый результат. Создается впечатление, что строение взрослого организма с точностью до мельчайших деталей предопределено начальным состоянием и внешними условиями развития.

Из этих фактов, казалось бы, следует, что разные области зародыша с самого начала развития каким-то образом запрограммированы для достижения строго определенного конечного результата. Иными словами, определенные структуры взрослого организма в той или иной форме присутствуют в определенных областях зародыша. Такое убеждение легло в основу влиятельного направления классической эмбриологии — преформизма.

Однако имеется широкий круг явлений, опровергающих это убеждение. Речь идет о так называемых эмбриональных регуляциях, впервые открытых немецким эмбриологом Г. Дришем почти 100 лет назад. Оказалось, что, удаляя те или иные части (клетки) зародыша, а также добавляя избыточные клетки или перемещая их в относительно ненормальные положения, можно добиться развития из определенных частей зародыша не тех структур (или не только тех структур), которые возникают из них в нормальном развитии. При этом в таких экспериментах сплошь и рядом образуются в целом совершенно нормальные, пропорциональные и полноценные организмы. Отсюда с неизбежностью следует, что для возникновения нормального целого вовсе не требуется, чтобы каждая его часть в отдельности была «запрограммирована» к развитию в одну единственную, строго определенную структуру.

Этот вывод может показаться парадоксальным. Более того, в то время, когда к нему пришел Дриш, он звучал как вызов тогдашней физике, основанной на идеях однозначного детерминизма. Только в наши дни в физике появились понятия, на языке которых можно хотя бы обозначить, если не

объяснить, явления эмбриональных регуляций. Мы можем сказать, что эти явления — яркие примеры самоорганизации.

Однако это еще не объяснение, а лишь символ объяснения. Необходимо обосновать самоорганизацию зародыша, исходя из его более элементарных свойств. При решении такой задачи без опыта физики не обойтись. В статье речь пойдет о приложении этого опыта при интерпретации некоторых ключевых процессов самоорганизации зародышевых структур.

В физике о самоорганизации говорят, когда при сохранении симметрии внешних условий в какой-либо системе самопроизвольно нарушается симметрия макроскопического состояния (иными словами, понижается порядок симметрии). Почти любой шаг развития организма, особенно в свете наличия эмбриональных регуляций, относится к этой же категории явлений. Существует много примеров поведения такого типа и для несравненно более простых — физических объектов. Один из них — образование так называемых ячеек Бенара при нагреве тонкого слоя жидкости. Мы не будем подробно обсуждать механизмы этих явлений. Отметим лишь, что наиболее общим механизмом всех подобных процессов служит избирательное усиление пространственных флуктуаций. В случае волновых процессов говорят об усилении определенных гармоник. Выделение подобных гармоник из флуктуационного «шума» и лежит в основе самоорганизации. Везде, где мы имеем дело с самоорганизацией макроскопического порядка, необходимо обнаружить и обосновать способность к такому выделению.

МОРФОГЕНЕТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Установление пространственной организации в развивающемся зародыше связывают с функцией так называемого морфогенетического поля. Для эмбриологов — это первичное понятие, основой для которого явились опыты Г. Дриша и других авторов¹.

Если экспериментировать с зародышами на достаточном ранних стадиях его развития, то в результате будет меняться последующее развитие всех остальных частей, причем так, что в конечном счете возникает нормальное целое. Такую гло-

¹ Впервые понятие морфогенетического поля как обобщение данных Г. Дриша и собственных исследований было сформулировано А. Г. Гурвичем (1874—1954) в 1910-х годах.

бальную регуляцию приписывают единому морфогенетическому полю.

Однако по мере развития зародыша удаление, добавление или перемещение его частей будет вызывать все более локализованные эффекты. Так, удаление части клеточного материала из области будущей конечности тритона не мешает развитию целой конечности, хотя и уменьшенных размеров. Все оставшиеся части зачатка конечности при этом изменяют свою судьбу (типичная эмбриональная регуляция), но за пределы зачатка конечности регуляционный процесс не распространяется, и все прочие части зародыша развиваются нормально. Таким образом, область, формирующая конечность, обладает определенной автономностью по отношению к остальному зародышу. Такие автономные области называют вторичными полями. Эффекты хирургических манипуляций не выходят за пределы этих полей. По мере развития зародыша первичное поле делится на ряд вторичных. Для зародышей позвоночных выделяют поля конечностей, глаз, сердца и др.

Чтобы выяснить физическую природу морфогенетического поля, попытаемся систематизировать его характерные признаки на примере регенерации у пресноводной гидры.

Изолированный фрагмент туловища гидры регенерирует целый организм, но при этом количество клеточного материала не увеличивается. Головной отдел всегда формируется на том конце фрагмента, который был ближе к голове до изоляции (этот конец называется дистальным, поскольку он удален от основания ствола). Однако приписывать это каким-либо предшествующим свойствам дистальных клеток фрагмента было бы неверно. Одна и та же часть туловища гидры формирует голову, входя в состав одного фрагмента, и туловища, входя в состав другого. С другой стороны, любая часть туловища может регенерировать голову, если она окажется на дистальном конце фрагмента.

Значит, все клетки, в принципе, одинаково способны регенерировать головной отдел. И все же после операции уже в процессе регенерации выделяется лишь часть из них, которая и реализует данную способность. В этом смысле исходная однородность нарушается, что и является первым типичным признаком развития, контролируемого морфогенетическим полем.

Как и физические поля (электромагнитное, гравитационное), морфогенетическое поле имеет источник, генерирующий некоторое действие вокруг себя (в нашем

примере — это формирующийся зачаток головы). Действие его на прочие клетки туловища состоит в подавлении их способности к регенерации головного отдела. Это действие можно блокировать простой перетяжкой фрагмента или другим физическим воздействием.

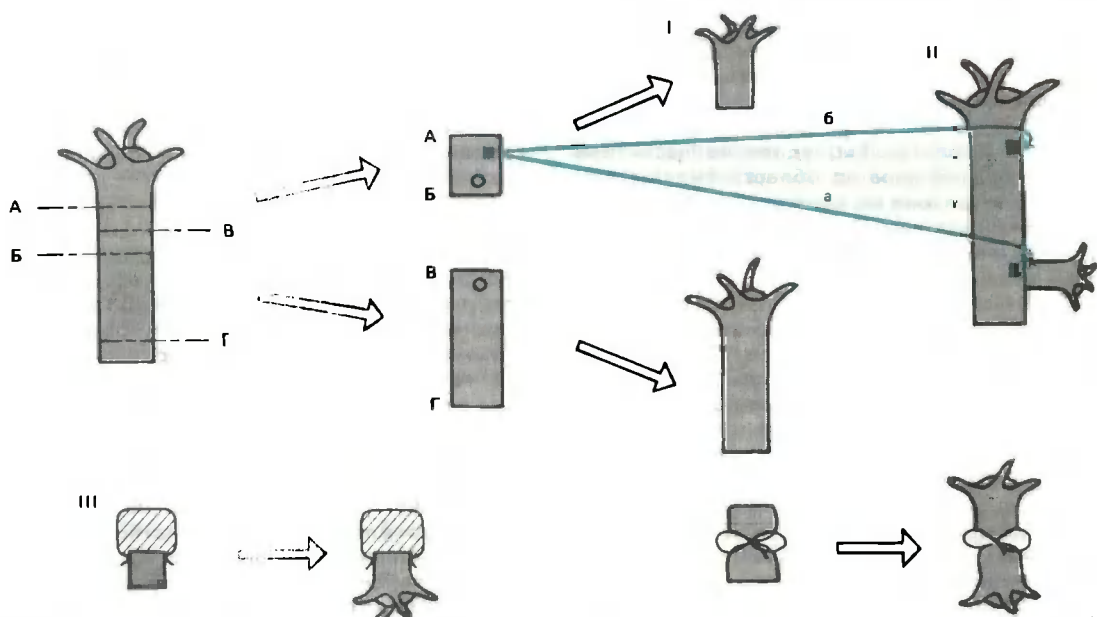
Второй характерный для первичного морфогенетического поля признак — способность регулировать пропорции развивающейся структуры. Фрагменты, размеры которых различаются в 10 и более раз, регенерируют животных с примерно одинаковыми пропорциями (отношением размеров головы и туловища). Это свойство называют размерной инвариантностью.

Морфогенетическое поле обладает ограниченным радиусом действия (≤ 1 мм). В таком интервале уместается около 100 клеток типичных размеров (это число почти одинаково для различных зачатков и зародышей разных видов). Считается, что такая универсальность отражает общую физическую природу полей разных зачатков.

Как правило, морфогенетическое поле возникает под влиянием внешних стимулов или некоторой изначальной неоднородности. Однако роль внешнего стимула в формировании поля не больше, чем роль спички в разжигании костра. После внешней инициации этот процесс становится автономным. (Хорошая иллюстрация такой автономности — опыты по индукции почкования в колонии гидроидных полипов — животных, родственных пресноводной гидре.)

Развитие нового побега в этой колонии можно стимулировать точечным приложением положительного электрода, инъекцией некоторых веществ или же просто уколom основного ствола полипа. Однако этот стимул не контролирует весь процесс развития побега, которое продолжается и после устранения воздействия, и даже на том месте, которое ему вообще не подвергалось.

Другой характерный признак морфогенетического поля — возникновение вокруг данного зачатка так называемого поля подавления, т. е. области, где другой такой же зачаток образоваться не может. Характерный размер поля подавления не обязан совпадать с полными размерами той области зародыша, из которой данный зачаток вообще может образоваться. Если размер поля подавления значительно меньше общего размера данной области, то может возникать более или менее регулярная решетка



Регенерация гидродного полипа из фрагмента туловища: I — одна и та же группа клеток (помеченная кружком) регенерирует головной отдел в одном фрагменте (BG) или остается туловищем — в другом (AB); II — поле подавления имеет ограниченный радиус действия. Кусочек ткани, участвующий в развитии головного отдела в регенерирующем туловищном фрагменте (цветной квадрат) активизирует формирование головы на достаточном удалении от предшествующей головы (a) и пассивен вблизи нее (б); III — внешнее препятствие на предполагаемом головном конце регенерирующего фрагмента снимает подавление с противоположного конца. Это же делает поперечная перегородка.

повторяющихся зачатков. Это происходит, в частности, при морфогенезе различных структур кожного покрова — перьев, волосков, щетинок, чешуек, желез. Геометрия этой «решетки» может быть различной — для перьевых зачатков ее ячейки представляют собой правильные шестиугольники, волоски или щетинки часто расположены либо периодически повторяющимися рядами, либо хаотично.

Перечисленные признаки «полевого поведения» должны дать представление о содержании самого понятия морфогенетического поля. Основная нагрузка этого понятия — объединить общие черты формирования разнородных структур в развивающемся зародыше.

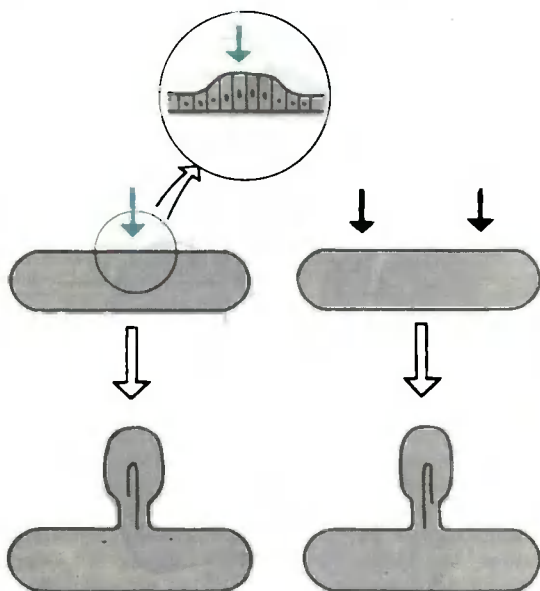
Действительно, такие признаки легко обнаруживаются при анализе экспериментального материала по закладке целого ряда органов — сердца, глаз, конечностей и т. д. — у зародышей многих видов. Но вместе с тем «сфера деятельности» морфогенети-

ческого поля должна быть ограничена, поскольку формирование разных органов включает в себя еще и разную специализацию клеток. По этому поводу в биологии развития утвердился следующий взгляд.

РАЗМЕТКА ЗАРОДЫША

Разметкой зародыша называют разделение его тканей на области с различной будущей специализацией клеток. Во многих (хотя, возможно, не во всех) случаях разметка предшествует специализации клеток и экспрессии (включению в работу) в них определенных групп генов. Во всяком случае, факторы разметки некоторым образом универсальны.

Допустим, в области формирования данного зачатка оказалась группа чужеродных клеток, т. е. клеток с измененной специфической активностью. В эксперименте этого нетрудно добиться, создавая особыми методами так называемые генетические мозаики — зародыши, у которых часть нормальных клеток замещена на мутантные. Будет ли специфическая активность этих чужеродных клеток контролироваться факторами разметки той области, куда они привнесены? Оказывается — в полной мере, будто эти клетки не покидали своего места в мутантном зародыше. Следовательно, в обоих зародышах, несмотря на различие специфической активности их клеток, факторы разметки одинаковы.



Механический нажим на ствол колонии гидродного полипа (стрелка) активизирует рост боковой почки. В ответ на внешний стимул вычленился домен столбчатых клеток (вставка). При воздействии в двух не слишком удаленных друг от друга точках возникает интерференционная «картина отклика», в которой новый побег может развиваться в нетронутом промежутке.

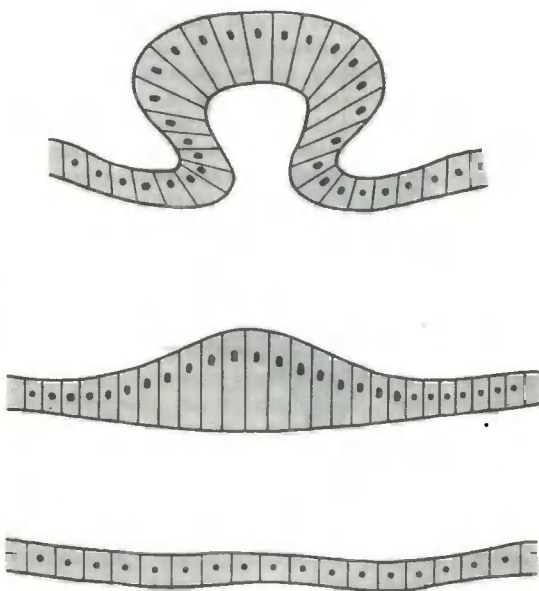
В сжатом виде сказанное можно выразить формулой:

$$\begin{array}{l} \text{Специфическая} \\ \text{структура} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Универсальная} \\ \text{разметка} \end{array} \times \\ \times \begin{array}{l} \text{Специфическая} \\ \text{реакция} \end{array}$$

«Полевые» черты структурообразования, поскольку ими определяется то общее, что есть в развитии разных зачатков, относятся именно к разметке. Таким образом, роль морфогенетического поля состоит в том, что в массе одинаковых клеток оно устанавливает более узкие границы будущего зачатка. Причем эта задача решается сходным образом для разных зачатков. Нас интересует именно то, как она решается.

Однако помимо этого остается вопрос, чем определяется формирование в данном месте зародыша не какого-либо, а вполне определенного органа. Этот вопрос, очевидно, относится ко второму сомножителю приведенной «формулы структурообразования». Не останавливаясь на этом подробно, ограничимся лишь общими замечаниями.

Как уже отмечалось, формирование данного органа данной группы клеток опре-



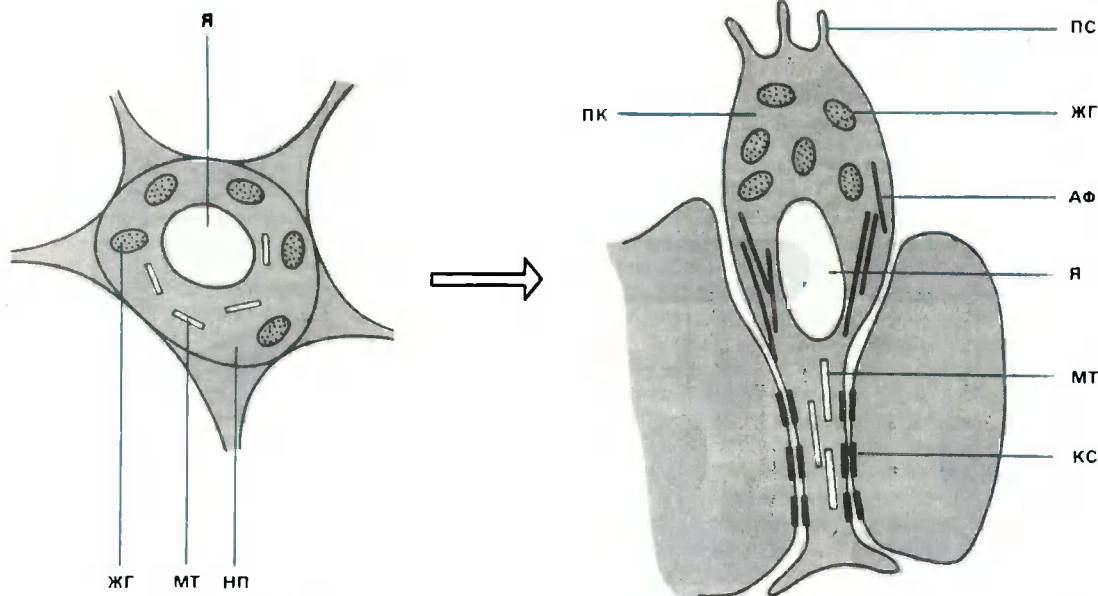
Клеточные пласты (эпителии) — наиболее активные элементы в морфогенезе зародыша. Перед началом формообразования осуществляется их разметка на активные и пассивные зоны. Во-первых, клетки вытягиваются и становятся столбчатыми, затем в активной зоне они выпячиваются. Подобный процесс происходит, например, при развитии органов чувств (внутреннее ухо, орган обоняния, глазной хрусталик и др.).

деляется тем, что в них работают вполне определенные гены. Для другого зачатка этот набор генов иной. Вопрос о генетической стратегии в развитии зародыша во многом еще не ясен, но определенная ее схема уже просматривается.

Многочисленные генетические данные, полученные преимущественно на дрозофиле, хорошо укладываются в схему так называемого комбинаторного кода³. В данной схеме каждая область зародыша, образуемая группой клеток в пределах четких границ, имеет определенный генетический «адрес», который устанавливается посредством «древа клеточных линий».

Все разветвления на этом древе бинарные и соответствуют двум состояниям — включенному и выключенному — ряда ключевых генов-переключателей. Состояние такого генетического переключателя, установленное однажды в некоторой группе клеток развивающегося зародыша, сохраняется и во всех дочерних клетках, так что «адрес» данной клеточной линии после каждого очередного ветвления удлиняется. Окончательный

³ Kauffman S. A. // Am Zool. 1977. Vol. 17. P. 631—648.



Признаки механической активности поляризованной клетки (ПК), наблюдаемые в электронном микроскопе: удлинение ядра (Я), перераспределение желточных гранул (ЖГ), продольная ориентация полимерных фибрилл цитоскелета, состоящего из активных филаментов (АФ) и тубулиновых микротрубочек (МТ); сборка контактных структур на боковых поверхностях мембраны (КС); псевдоподиальная активность — образование отростка от основного тела. Слева — неактивная форма той же клетки (неполяризованная клетка — НП). Для перехода от неактивной к активной форме (стрелка) достаточно нескольких минут.

«адрес» клеток взрослого организма, закодированный по такой схеме, содержит в себе всю историю бинарных выборов состояния, пережитую клетками-предшественниками. Этот «адрес» и определяет тип органа или ткани, а соответствующее местоположение устанавливается благодаря разметке. Вероятно, каждое очередное ветвление сопровождается решением задачи: где включить, а где оставить выключенным очередную ген-переключатель.

В самое последнее время такая схема подтверждается уже не только в генетических, но и в молекулярно-биологических исследованиях. Можно ожидать, что в скором времени комбинаторный код будет расшифрован.

Итак, морфогенетическое поле организует предварительную разметку зародышевых структур. Но можно ли обнаружить эту разметку саму по себе — вне связи с последующей специфической реакцией клеток?

Эмбриологам хорошо известно, что очень многие органы образуются путем сложных деформаций пластов сцепленных клеток — эпителиев. Например, зачатки глаз позвоночных формируются путем впячивания эпителиальной стенки глазного пузыря.

В тех примерах, которыми мы иллюстрировали признаки морфогенетического поля, — образование головного отдела из фрагмента туловища гидры, боковой почки на стволе колонии и т. д. — основные события также разыгрываются в эпителиальных пластах.

Первый признак морфогенетической активности эпителиев — формирование в них группы столбчатых клеток, ориентированных примерно перпендикулярно к плоскости пласта. В этом и состоит начальная разметка; во всяком случае, других ее признаков не найдено. В следующий промежуток времени пласт активно деформируется благодаря сокращениям или другим движениям выделенной группы клеток.

Итак, носитель морфогенетического поля — эпителий, а источник — группа столбчатых клеток. Потенциально такая группа может появиться в любом месте пласта, однако действие поля, генерируемого уже сформировавшимся источником, именно в том и состоит, что эта возможность подавляется в окрестности источника. Источник, а с ним и окружающее поле подавления зарождаются в ответ на внешний по отношению к нему стимул. Но этот стимул необходим лишь как триггер. Расслоение пласта на зону столбчатых клеток и зону подавления

клеточного «утолщения» (в протяженных пластах формируется множество таких зон) — не калька с какого-либо внешнего воздействия, но результат игры внутренних сил, игры под названием «самоорганизация». Нам остается понять, как правила самоорганизации вытекают из группового поведения эпителиальных клеток.

ГРУППОВОЕ ПОВЕДЕНИЕ КЛЕТОК

Эмбриологи приписывают организацию согласованного развития клеток морфогенетическому полю. Однако, как «измерить» само поле, неясно. Поэтому наша дальнейшая задача — обосновать поведение, которое приписывается полю, исходя из измеряемых величин. С этой целью мы представим наиболее важные, с нашей точки зрения, свойства клеток и их взаимодействий, а затем попытаемся свести к этим свойствам их наблюдаемое групповое поведение.

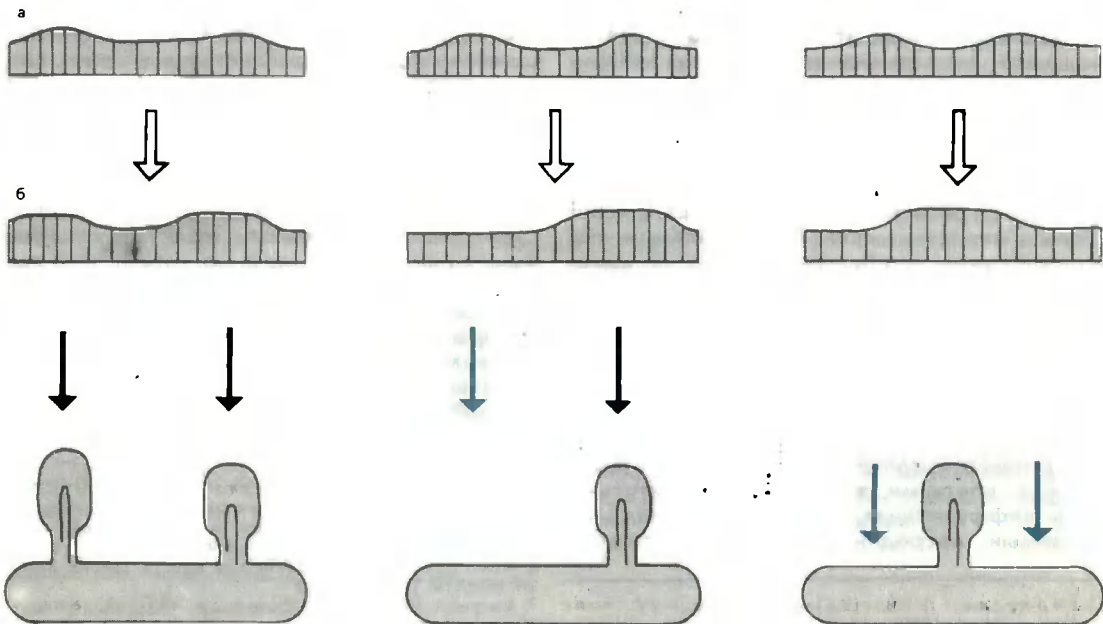
С механической точки зрения клетка имеет свойства упругого тела, а именно: обладая в данных условиях некоторой равно-

весной формой, она отвечает возвращающей силой на отклонение от этой формы. Упругость клетки — это упругость не твердого тела, а, скорее, накачанного мяча. Сила, восстанавливающая равновесную форму, сосредоточена преимущественно в узком подмембранном слое клетки, состоящем в основном из белка актина. Кроме того, со своей базальной (внутренней) стороны эпителиальные пласты, как правило, подстилаются так называемым внеклеточным матриксом, который служит дополнительным источником упругости.

Далее, эпителиальные клетки в период формообразования обладают механической активностью, т. е. способны генерировать внутреннюю силу, заставляющую клетку выйти из равновесия, изменив собственную форму.

Можно выделить три основных составляющих этой внутренней силы: во-первых, объемная, обусловленная перестройкой внутреннего каркаса клетки (цитоскелета); во-вторых, поверхностная, связанная с перераспределением и образованием новых зон контакта клеточной мембраны с внеклеточным матриксом или мембранами соседних

Рассчитанное вычленение зон столбчатых клеток в идеальном пласте при различном относительном удалении начальных очагов механической активности клеток (а). Соответствующие экспериментальные результаты, полученные при механической стимуляции почкования боковых побегов на стволе колонии гидрополия [6]. Места воздействия нажимом показаны стрелками. Когда оба воздействия сильно раздвинуты (более чем на R_-), каждое формирует отдельную почку. При их сближении на расстоянии, промежуточном между R_- и R_+ почка возникает лишь в зоне одного из воздействий (другая почка ею подавляется). Если воздействия сближены более чем на R_+ — единственная почка может возникнуть между ними.



клеток; наконец, так называемая псевдо-подиальная активность, выражающаяся в образовании более или менее массивных отростков основного тела клетки. С помощью электронного микроскопа все эти компоненты двигательной активности клетки хорошо регистрируются. Энергию, необходимую для механической активности клетки, обеспечивает универсальное биохимическое топливо — аденозинтрифосфорная кислота (АТФ).

В эпителии клетки стеснены соседями. Этим определено разделение названных компонентов активности. Контактные структуры собираются из молекул гликопротеинов на боковых поверхностях клеток и стабилизируют их. Псевдоподиальная же активность сосредоточена на свободных участках поверхности. Такое разделение определяет векторный характер активных деформаций в эпителии — их вытягивание в нормальном к пласту направлении и сжатие — в касательном. Именно таков механизм появления столбчатых клеток, о которых мы говорили как об источнике морфогенетического поля. Групповое поведение клеток обусловлено межклеточными взаимодействиями. Для нас сейчас важны лишь те из них, которые обеспечивают согласованность механической активности клеток в эпителиальных пластах.

По знаку своего влияния на механическую активность необходимо различать две категории таких взаимодействий: стимулирующие (плюс) и подавляющие (минус).

Так, в тканях зародышей была обнаружена эстафетная передача механической активности от одной контактирующей клетки к другой, так называемая контактная поляризация клеток¹. Какова бы ни была физическая природа этого явления, само по себе оно — прямое свидетельство плюс-взаимодействий.

Минус-взаимодействия обнаруживают себя в уже знакомом нам поле подавления. В литературе оно часто связывается с некоторым гипотетическим молекулярным посредником — ингибитором, который вырабатывается источником, диффундирует в окружающие области и подавляет в них возможное зарождение нового источника. При таком объяснении «непонятного через неизвестное», пока это «неизвестное» не обнаружится, проблема остается нерешенной. В принципе, гипотеза диффундирующего посредника выглядит вполне реалистичной. Между клетками в тканях действительно есть диффузионная связь. Однако предполагаемый посредник-ингибитор, несмотря

на долгие поиски, так и не найден⁵. Вместе с тем ситуация не настолько драматична, чтобы это обстоятельство ставило под угрозу какой-либо принцип.

Минус-взаимодействия в клеточных пластах может возникать по следующему простому сценарию. Сжатие в плоскости пласта некоторой группы клеток (в результате их механической активности) приводит к тангенциальному растяжению окружающих клеток, что затрудняет образование столбчатых форм. Таким образом, активация одних клеток в пласте подавляет активацию других. Заметим, что данный механизм взаимодействия является эффективно дальнедействующим — касательные упругие натяжения не сосредоточены в непосредственной окрестности вызывающих их клеток, но перераспределяются по всему пласту.

Такой чисто «физический» механизм минус-взаимодействия клеток, очевидно, намного проще, чем «химический», предполагающий синтез специального посредника. Действительно ли он работает, убедиться нетрудно: натяжение в пласте легко устранить его рассеиванием. В тех случаях, где подобные опыты с должным контролем проводились, как и ожидалось, снимается дальнедействующий эффект подавления, в результате чего либо расширялись старые, либо формировались новые зоны столбчатых клеток⁶.

Остальную часть поставленной в начале этого раздела задачи должна взять на себя идеализированная теоретическая модель. Представим себе некий идеальный пласт. Его клетки — упругие элементы, находящиеся исходно в механическом равновесном (ненапряженном) состоянии. Имитируя механическую активность клеток, припишем идеальным клеткам способность в ответ на внешний сигнал генерировать усилие, сжимающее их в касательном направлении. Таким сигналом может быть либо воздействие извне, либо соседство с уже «активированной» клеткой (эффект эстафетной передачи механической активности клеток). Данная активность связана с определенным выигрышем внутренней энергии; при этом касательные натяжения, очевидно, должны понижать этот выигрыш.

Подобные идеализированные модели полезны, поскольку могут быть переведены

⁵ Это утверждение не вполне точно. В действительности такой ингибитор выделен из пресноводной гидры и хорошо изучен химически, однако его реальный вклад в межклеточные взаимодействия действительно далек от ясности. (Прим. ред.)

⁶ Белоусов Л. В. // Онтогенез. 1988. Т. 19. № 1. С. 48—54.

¹ Белоусов Л. В. (Belousov L.) // Arch. Developm. Biol. 1980. Vol. 188. P. 1—7.

на язык уравнений. В данном случае вся важная информация о свойствах, приписанных модельному пласту, сосредоточена в небольшом числе количественных параметров. Жертвуя точностью (ради наглядности), смысл наиболее существенных из этих параметров можно представить себе следующим образом: характерный радиус плюс-взаимодействия (R_+), выражающий скорость эстафетной передачи механической активности клеток; радиус минус-взаимодействия (R_-), характеризующий ширину зоны тангенциальных натяжений вокруг группы сжатых клеток. Пока внутренние механизмы рассматриваемых свойств еще не ясны, рассчитать эти параметры нельзя, зато можно оценить их непосредственно из эксперимента. А на вопрос, как R_+ и R_- определяют поведение пласта, должна ответить уже математическая модель. С помощью уравнений этот вопрос решается достаточно строго, но смысл устанавливается и без них.

Пусть некоторое внешнее воздействие включает механическую активность клеток, что приводит к появлению локального очага сжатых клеток. Какова его дальнейшая судьба? Соседние, не затронутые данным воздействием, клетки пласта испытывают двоякое действие: с одной стороны, «активированных» клеток, а с другой — возникших тангенциальных натяжений, подавляющих механическую активность клеток. Пока активированных клеток мало, мал и второй эффект. При этом очаг механической активности расширяется. Параллельно до соответствующего предела нарастают натяжения, пока они не остановят механическую активность. Момент остановки или расстояние, пройденное при эстафетной передаче активности, определяется параметрами материала, а не количеством первоначально активированных клеток. Так внешний триггер формирует из точки поля — группу столбчатых клеток. Само это поле есть не что иное, как поле натяжений. Оно также имеет конечную глубину проникновения, оцениваемую параметром R_- .

В процессе расчленения модельного пласта на зоны столбчатых клеток и зоны подавления внешний триггер механической активности клеток играет роль толчка, от которого процесс развивается автономно, достигая определенной величины натяжений.

Более основательное исследование уравнений данной модели показало, что

внешний триггер вовсе не обязателен даже для возбуждения коллективной клеточной активности. Теоретически возможна ситуация, когда группа активных клеток вычленивается спонтанно, в результате усиления макроскопических флуктуаций. В этом случае можно говорить о «чистой» самоорганизации. Математическая модель показывает, при каких соотношениях параметров это происходит.

Вообще, при кажущейся простоте, идеализированный пласт оказался достаточно емкой моделью. Оценить ее возможности, опираясь на интуицию, не так просто. Для соответствующей математической модели — это решаемая техническая задача. Спектр макросостояний групповой активности клеток в идеализированном пласте, оказывается, можно описать всего двумя параметрами R_+ и R_- .

В целом идеализированный пласт, в плане организации групповой активности клеток, способен на все, что приписывалось морфогенетическому полю. Тем самым поведение поля можно вывести, исходя из более элементарных свойств клеток, и прежде всего из механической активности. Клетки сами — в результате согласованного группового поведения — организуют свою механическую активность в пласте, определяя таким образом морфогенетическую разметку.

Само сведение одной биологической сущности — морфогенетического поля — к другой — механической активности клеток — выполняется в духе физики. А именно: на основании количественных параметров, полученных в эксперименте, можно предсказать поведение с помощью математической модели. Опыт физики же, накопленный при описании явлений самоорганизации в более простых системах, позволил выделить эти существенные параметры.

Этот опыт, несомненно, окажется конструктивным и при решении очередной задачи — изучении природы механической активности зародышевых клеток.

Успех в решении этой задачи позволит лучше понять связь между свойствами и функцией биологических молекул и свойствами и поведением коллективов клеток при развитии зародыша. Тем самым появится возможность сократить разрыв между понятиями, относящимися к описанию организма как целого, и как бы противостоящим описанием неживой материи.

⁷ Белинцев Б. Н., Белоусов Л. В., Зарайский А. Г. // Онтогенез. 1985. Т. 16. № 1. С. 5—14.

М. Д. Ахундов
Л. Б. Баженов

У истоков идеологизированной науки



Мурад Давудович Ахундов, доктор философских наук, ведущий научный сотрудник Института философии АН СССР. Область научных интересов — философские проблемы естествознания, логика и методология науки. Автор монографий: Проблема прерывности и непрерывности пространства и времени. М., 1974; Пространство и время в физическом познании. М., 1982; Akhundov M. D. Conceptions of space and time: sources, evolution, directions. Cambridge (Mass.), London, 1986.

Лев Борисович Баженов, доктор философских наук, ведущий научный сотрудник того же института. Специалист в области философских вопросов естествознания и методологии науки. Автор книг: Философия естествознания (в соавторстве с К. Е. Морозовым и М. С. Слуцким). М., 1966; Строение и функции естественнонаучной теории. М., 1978.

СРЕДИ многочисленных вопросов, активно и страстно обсуждаемых на страницах нашей печати, видное место занимает вопрос о судьбах советской науки. Во многих печатных органах появились статьи, в которых рассматриваются трагические события, связанные с генетикой, цитологией, физиологией, лингвистикой, кибернетикой, релятивистской физикой, квантовой химией... Трудно назвать область фундаментальной науки, которая не испытала бы пагубного воздействия идеологического давления и не понесла бы где меньших, где больших потерь.

Господствующей на Западе оценкой судеб советской науки является тезис о разрушительном влиянии марксистской философии на развитие науки. Настало время внимательно разобраться в этом вопросе.

Настало время внимательно разобраться в этом вопросе.

ФЕНОМЕН ИДЕОЛОГИЗИРОВАННОЙ НАУКИ

Прежде всего введем понятие **феномена идеологизированной науки**, который можно охарактеризовать следующим образом.

Марксизм выдвинул три положения, определяющих статус науки: социальная природа науки; воздействие философии (шире — идеологии) на науку; объективный статус науки.

Эти положения, на наш взгляд, безусловно верные, вместе с тем, как и все в мире, допускают одностороннее истолкование. Тезис о социальной природе науки утверждает, что наука возникает лишь в обществах определенного типа, что она несет на себе печать того общества, которое вызвало ее к жизни. Второе положение означает, что философские установки ученых влияют на создаваемые ими концепции. В деятельности того или иного ученого они могут определять и часто определяют главное направление его работы. Первые два положения всегда должны рассматриваться в непереносимом единстве с третьим — признанием науки системной объективной знания. Забвение этого положения, отказ от него или сомнение в нем и ведет к феномену идеологизированной науки. Тогда и возникают наука пролетарская, арийская или исламская. Суть здесь не в конкретной идеологии, а в искажении объективного содержания науки, которая начинает обслуживать идеологическую схему, те ценности, которые в данной идеологии почитаются за основные (религиозные — в исламе, расовые — в нацизме, классовые — в марксизме). Во всех подобных случаях идеология задает уже не только нормы поведения или мировоззрения ученых, но и претендует на более глубокое проникновение в науку.

Подобная идеологизированная наука (или призывы к ее построению) появляется, как правило, в рамках «нового общества» или «нового порядка», которые устанавливаются после свершения социально-политической революции (любого другого глобального социального изменения). Это легко понять, если учесть, что наука возникла и развивалась в буржуазном христианском обществе, а «отрицание» ценностей и идеологии этого общества лежит в основе современных революций (пролетарской, исламской и т. д.). В этой ситуации вполне естественной выглядит постановка вопроса об отношении революционного общества к науке, созданной и развитой в дореволюционный период, а потому испытавшей на себе «тлетворное» воздействие старой, дореволюционной идеологии.

Конечно, «новые общества» XX в. были кровно заинтересованы в развитии науки, ибо им предстояла экстренная модернизация экономики, немыслимая без развития объективной науки. Однако вновь и вновь почти всякое «новое общество» в первую очередь стремится создать свою собственную преданную и единственно правильную, т. е. в конечном счете, идеологизированную науку.

МАРКСИЗМ И ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ

Причастен ли марксизм к феномену идеологизированной науки? В известном смысле — да. Ведь «под знаменем марксизма» свершилась Октябрьская революция и были созданы те политические условия, в которых впоследствии расцвел этот феномен. Да и основным инструментом идеологизации стала определенным образом препарируемая марксистская философия.

И все же принципиальный ответ на этот вопрос должен быть отрицательным. Во-первых, политические структуры, породившие идеологизированную науку в нашей стране, явились не адекватным выражением социализма, а его грубым извращением; во-вторых, марксистская философия, послужившая инструментом идеологизации науки, была марксистской лишь по названию. По сути она сама подверглась своеобразной «идеологизации» и претерпела не меньший ущерб, чем наука.

Какова же действительная взаимосвязь марксизма с естествознанием? В отличие от традиционной умозрительной философии, претендующей на роль «науки наук», и позитивизма, провозгласившего ненаучность философии вообще, в марксистском понимании философия предстает как «мировоззрение, которое должно... проявить себя не в некоей особой науке наук, а в реальных науках»¹. Она не должна диктовать естествознанию, какие результаты оно должно получать, указывать, какими должны быть его теории по конкретному содержанию, пытаться открыть в предметных областях физики, химии, биологии и т. д. нечто такое, что сами эти науки открыть не могут. Философия должна стать школой теоретического мышления, общим инструментом, общей методологией научного познания. Классики марксизма всегда последовательно отстаивали объективный статус и высокое призвание науки.

Анализируя новейшую революцию в естествознании, В. И. Ленин нигде не пытается оспорить или подвергнуть сомнению сами физические результаты. Красной нитью через весь «Материализм и эмпириокритицизм» проходит мысль автора о том, что его интересуют исключительно и только гносеологические выводы из новейших открытий физики. Признание за физиками идеалистической философской ориентации, способно-

¹ Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 20. С. 142.

сти успешно работать в физике выражает глубокую убежденность Ленина в объективности содержания науки, во внутренней враждебности этого содержания идеалистической ориентации, в невозможности со стороны «физического» (и любого другого «научного») идеализма это объективное содержание из науки удалить.

Отметим, что в последующие годы «в развитие Ленина» неоднократно выдвигался тезис, что по сравнению с 1908 г. (когда был написан «Материализм и эмпириокритицизм») кризис капитализма пошел дальше и что теперь уже идеализм связан не только с гносеологическими выводами из науки, но и проникает в самую ее суть, что в буржуазных странах мы сплошь и рядом встречаемся уже не с науками, из которых делаются реакционные философские выводы, а с реакционными философскими концепциями, лишь маскирующимися научной терминологией. Эта антинаучная и антимарксистская позиция сформировалась и приобрела угрожающие (не только для науки и философии) масштабы в период сталинизма. Она резко противоречит марксистско-ленинской позиции дореволюционного периода, возврат к которой произошел лишь после XX съезда КПСС, на I Всесоюзном совещании по философии естествознания (1958).

Не претендуя на охват всей проблемы, свою задачу в этой статье мы видим в том, чтобы рассмотреть, что же произошло в 20—30-е годы в нашей стране во взаимоотношении естествознания и философии. Анализ событий и процессов, имевших место в науке и философии в этот период, позволяет понять, как происходил отход от марксистско-ленинской концепции.

ПЕРВЫЕ ШАГИ

Октябрьская революция открыла совершенно новую эпоху в истории человечества. После завоевания политической власти и ее упрочения в ходе гражданской войны и разгрома интервенции перед страной встали задачи строительства нового общества, а тем самым и определения отношения к старому обществу и его идеологии.

С одной стороны, важной задачей этого периода оказывается привлечение старой дореволюционной интеллигенции на сторону новой власти. Ленин рассматривал это как одну из пяти новых форм классовой борьбы в эпоху диктатуры пролетариата. («Использование буржуазии. Спец».)

С другой стороны, строители нового общества постоянно нацелены на ниспровержение старого, на утверждение нового, передового. Революционный энтузиазм, пафос созидания пронизывает всю идейную атмосферу начала 20-х годов. И в этой обстановке, на наш взгляд, неизбежно должны были появиться сначала незначительные, а затем все большие перекосы, искажения, упрощения. В сфере культуры эта тенденция выразилась в Пролеткульте — движении, отвергавшем всю прошлую культуру как порождение эксплуататорского общества.

Наука — один из важнейших элементов человеческой культуры, и дискуссии об отношении к культуре буржуазного общества касались ее не в меньшей степени, чем литературы или искусства. Как уже отмечалось, в марксизме была выработана ясная позиция о соотношении науки и идеологии (прежде всего, философии). Однако эта ясность, вполне достаточная на общетеоретическом уровне, терялась при соприкосновении с жизненными реалиями в идеологически окрашенной атмосфере того времени. Так, некоторые требовали ликвидировать буржуазную идеологическую нагруженность науки, дабы потом нагрузить ее идеологией пролетарской. Раздавались даже призывы вообще отказаться от буржуазной науки и ее теорий (экспериментальные факты дозволялось оставить, ибо они теоретически и идеологически не нагружены и близки к промышленному производству, т. е. к пролетариату) и с самого начала строить свою, «пролетарскую» науку. Наконец, пролетарская идеологизация науки проходила под лозунгами «Долой философию!» и «Долой идеологию!»

Для успешной борьбы с буржуазной идеологией, за привлечение на сторону партии прежде всего молодежи в 1922 г. создается журнал «Под знаменем марксизма». В одном из первых номеров журнала (№ 3) публикуется программная статья Ленина «О значении воинствующего материализма». Работа эта настолько часто разбиралась и анализировалась в нашей литературе, что нет смысла заниматься этим еще раз. Отметим лишь, что в вопросах взаимоотношения естествознания и философии Ленин исходит из ранее развитых им в «Материализме и эмпириокритицизме» установок, противоположных концепции идеологизации науки. И в этом смысле последующие ссылки на Ленина как «механистов» и «диалектиков» в 20-е годы, так и пришедших им на смену «молодых икапистов» в 30-е годы — не говоря уже о лысенковцах в 30—40-е годы — не выдерживают никакой критики.

«МЕХАНИСТЫ» И «ДИАЛЕКТИКИ»

В 20-е годы внутри марксизма сформировались два лагеря — «механисты» и «диалектики», которые выступали с бурными взаимными упреками, вели острые дискуссии по проблемам философии естествознания, в частности о том, что делать с «буржуазной» наукой и как развивать науку «пролетарскую». Этим проблемам в то время вообще уделялось огромное внимание, ибо они приобрели особую актуальность в связи с грандиозными планами социалистического строительства, электрификации, реконструкции народного хозяйства, желанием «догнать и перегнать» развитые капиталистические страны. Организовывались различные институты, секции, академии, которые были призваны решать философские вопросы науки и техники.

Во главе двух направлений стояли исследователи, многие из которых пришли в марксизм и революционное движение в конце XIX — начале XX вв., получили хорошее философское образование, играли активную роль в Октябрьской революции и затем занимали высокие государственные, партийные и научные посты. Среди них Л. И. Аксельрод (Ортодокс), И. И. Скворцов-Степанов, А. М. Деборин и другие. Так что это было идейное противоборство двух профессионально образованных марксистских группировок, в которые входили и профессиональные естествоиспытатели (И. И. Аголл, Б. М. Гессен, С. Г. Левит, А. К. Тириязев и др.). В чем же состояла суть их представлений и сколь принципиальны были их разногласия?

Исходными посылками «механистов» и «диалектиков» были общепризнанные положения марксизма начала 20-х годов. Например, все соглашались, что самые основы буржуазного общества охвачены кризисом и этот кризис буквально подтачивает фундамент буржуазной науки, которая склоняется к философскому идеализму и даже теологии. Кризис подтачивал основы буржуазного общества и в XIX в., но особенно обострился в преддверии мировой пролетарской революции, которая так победоносно началась у нас в России. В этой кризисной обстановке буржуазия выступает реакционным классом, неминуемая гибель которого заставляет буржуазную науку не отыскивать истину, а искажать ее в угоду классовым интересам.

Эти представления мы встречаем в публикациях журнала «Под знаменем марксизма» уже в 1922 г., например в статье

А. А. Максимова «О принципе относительности А. Эйнштейна», где он пишет, что «буржуазная наука не только не постигает по существу имеющийся опытный материал, но постигает его в извращенном виде, дает ему толкование, навязывающее то взаимоотношение между фактами, которого в действительности нет, но которое соответствует прочим идеологическим формам данной стадии развития общества». И далее автор проводит демаркационную линию внутри самой буржуазной науки: «Если конец XVIII и начало XIX века характеризуются тем, что естествознание одевается в материалистический (метафизический) костюм и служит целям революции, потому что еще революционна и сама буржуазия, то уже к концу XIX века на сцену выступает естествознание, облеченное уже в идеалистическое одеяние, соштанное Махом, Пирсоном и их союзниками и потерявшее в этом одеянии революционный характер»¹.

В 1922 г. советские философы-марксисты и естествоиспытатели-материалисты еще не разделились на «диалектиков» и «механистов», хотя первые шаги к этому уже были сделаны. Так, приведенные цитаты характерны для доктрины «диалектиков» (Максимов был учеником Деборина — явного лидера «диалектиков»²). Последователи этого направления, сформировавшегося уже к середине 20-х годов, придавали большое значение изучению диалектики Гегеля (к чему призывал и Ленин в своей программной статье «О значении воинствующего материализма»), развитию материалистической диалектики как методологии современного естествознания, разработке диалектической логики — логики современной теоретической науки, которая должна сменить старую формальную логику, удовлетворяющую эмпирическую науку предшествующего периода.

Что же касается «механистов», то в философии и естествознании это течение существовало задолго до Октябрьской революции и изначально не было связано с марксизмом. Дело в том, что многие ученые так и не смогли смириться с крахом механицизма в ходе развития ряда теорий «неклассического» естествознания (в первую очередь, теории электромагнетизма, теории относительности, квантовой теории). Развитие подобных теорий выявило неуниверсаль-

¹ Максимов А. А. Под знаменем марксизма. 1922. № 9–10. С. 206.

² Это, однако, не помешало Максиму в начале 30-х годов сыграть активную роль в разгроме «деборинцев». См.: За поворот на фронте естествознания. М., Л., 1931.

ность и неуникальность механической исследовательской программы, невозможность редукции всего природного многообразия к механике и механическим моделям. Для многих ученых крах механицизма ассоциировался с крахом науки и материализма, что заставляло их вести ожесточенные бои с передовыми теориями и побуждало к построению им взамен механистических паллиативов. Например, А. К. Тимирязев выступал против теории относительности Эйнштейна еще до Октябрьской революции. Когда же в рамках марксизма сформировалась концепция «механистов», он не просто примкнул к ней, но стал одним из ее лидеров, привнес в нее ряд важных физических аргументов.

Определенной вехой в развитии концепции «механистов» послужила книга Скворцова-Степанова «Исторический материализм и современное естествознание». Там, в частности, говорится: «**Современная наука по своему общему характеру является последовательной продолжательницей научных воззрений XVIII века. Строго критические наблюдения и опыт (эксперимент) являются в ее глазах единственными средствами познания мира**»⁴. Таким образом, Скворцов-Степанов обосновывает «механицизм» своего рода «**принципом идеологического соответствия**»: наука революционного пролетариата — преемница науки революционной буржуазии XVIII в., т. е. классической механики. Стало быть, наука XX в. есть завершение и величайшее творчество механицистского понимания природы, что проявляется в справедливости закона сохранения энергии в области неживой и живой природы. «Механисты» не сомневались в возможности аналогичного подхода и к изучению социальных явлений.

Исходя из этих установок, «механисты» пересмотрели все достижения современного естествознания, которые в какой-то мере подрывали устои механицизма. Например, Тимирязев предупреждал, что если не удастся свести термодинамику к механике, то «тепловая смерть» Вселенной неизбежна: «Если мы не будем пытаться сводить тепловые явления к механике, нам выхода нет, и остается только наблюдать, как наука подводит незыблемый фундамент под роскошный полог о конце мира и втором пришествии...»⁵ Он обвинял в обскурантизме и попытке затормозить развитие живой науки

даже М. Планка, который отрицал возможность сведения тепловых явлений к механике. Отношение Тимирязева и других «механистов» к теории относительности было резко отрицательным. Более негативное отношение к ней выразил лишь журнал «Крокодил», который откуда-то перепечатал карикатуру на Эйнштейна и сопроводил ее следующей подписью: «Эйнштейн изобрел научную теорию, которая противоречит физике и геометрии, а потому она буржуазна и пролетариату не нужна». Об этом рассказал О. Ю. Шмидт, выступая на обсуждении одного из многочисленных анти-эйнштейновских докладов Тимирязева «Теория относительности Эйнштейна и махизм»⁶.

Научная критика теории относительности со стороны «механистов» сводилась к наивным и туманным рассуждениям о движении шаров или цилиндров в эфире и т. п., которые не шли ни в какое сравнение со стройной логикой теории Эйнштейна. Если бы «механисты» и «диалектики» сумели творчески подойти к критике друг друга, это, безусловно, пошло бы на пользу развитию марксистской философии естествознания. Но дело стало принимать другой оборот. Оппоненты переходили от критики отдельных положений в работах «конкурентов» к попыткам доказать общую несостоятельность конкурирующего направления, обвиняя его в ревизии марксизма.

Эти обвинения начались, по всей видимости, с дискуссии 18 мая 1926 г. в Институте научной философии. Аксельрод выступила с критическими замечаниями по докладу о философии А. Бергсона, а что было дальше, она сама излагает следующим образом: «А. Деборин разразился шумливой речью, искажившей с начала до конца, самым недопустимым образом все содержание моего выступления, заявив важно и категорически о существовании двух групп: одна из них состоит из «ортодоксальных марксистов», возглавляемых им, «ортодоксом» А. Дебориным, а другая из «ревизионистов», к которым причисляюсь я». Далее Аксельрод поясняет, что никакого раскола она раньше не видела, ибо писания Деборина представляют собой сплошную эклектическую путаницу понятий и не могут рассматриваться как философское направление. Но теперь она пересмотрела свои представления (ситуация в стране и партии была достаточно острая, чтобы на обвинение в ревизионизме

⁴ Степанов И. Исторический материализм и современное естествознание. М.: Л., 1926. С. 25.

⁵ Механическое естествознание и диалектический материализм. Вологда, 1925. С. 20—21.

⁶ См.: Вестник Коммунистической Академии. 1924. № 7. С. 366.

⁷ Аксельрод (Ортодокс) Л. И. Мой ответ // Диалектика в природе. Сб. 2. Вологда, 1927. С. 301.

не ответить встречным обвинением): «...подлинным ревизионизмом является все то, что теперь пишется А. Дебориным и его учениками. Эта новая разновидность ревизионизма представляет собой самую вредную разновидность, потому что она прикрывается громкой ортодоксальной фразой»⁸.

В этой ситуации «механисты» начинают уделять большое внимание не столько разработке своей доктрины, в которой речь, скорее, шла о выяснении отношения механицизма к различным научным теориям и концепциям, например дарвинизму, фрейдизму и т. д., сколько критике концепции «диалектиков» (те же самые ошибки «диалектиков» критикуются во многих работах «механистов») и выяснению сути возникших разногласий. «Механисты» усиленно раздувают в печати миф о том, что «диалектики» — это «абстрактные философы», которые на основании философии Гегеля судят обо всем, не зная ничего. В частности, Аксельрод писала: «Благодаря универсальности закона диалектики является возможность говорить обо всем, ничего не зная, говорить об абстрактных терминах, придавая ученую видимость полной бессодержательности. Наблюдая этот процесс, можно сказать, что никто не может так хорошо и так тщательно скрыть свое невежество, как абстрактный философ»⁹. «Механисты» призывают «диалектиков» не ограничиваться изучением Гегеля, но приобретать глубокую подготовку по естествознанию. «Целесообразнее всего, — говорится в передовой статье «Марксистское мировоззрение и индустриализация страны», помещенной в рупоре «механистов» — сборнике «Диалектика в природе», — если о диалектике в физике дает положительные исследования физик-марксист, в биологии — биолог-марксист. Не нужно воображать, что кто-нибудь на основании изучения логики Гегеля может писать о любом предмете»¹⁰.

Трудно не согласиться с этими пожеланиями «механистов», но они искажали реальную ситуацию, создавая иллюзию того, что «диалектики» представляли собой скопище абстрактных гегельянцев. На самом деле среди «диалектиков» было очень много (наверное, больше, чем среди «механистов») профессиональных естествоиспытателей-марксистов. Образ абстрактного гегельянца писался, видимо, с лидера «диалектиков» Деборина. Но и здесь «механисты» часто оказывались в неловком положении (хотя

Деборин был далеко не безгрешен, и в его работах, конечно же, можно найти ряд сомнительных и ошибочных положений). Так, они неоднократно высмеивали его представление об объективности случайности, которое тем не менее оказалось созвучным и марксизму, и современному естествознанию. А если взять доклад Деборина «Ленин и кризис новейшей физики», прочитанный 2 февраля 1930 г. на собрании Академии наук СССР, то он характеризуется достаточно профессиональным обсуждением многих важных проблем современной физики и адекватным отражением роли и места в современной науке таких выдающихся исследователей, как Эйнштейн или Планк, с чьими именами справедливо связывается грандиозная революция в физике XX в.

Однако помимо взаимных выискиваний конкретных ошибок, необоснованных интерпретаций, вздорных обвинений и т. д., были вскрыты и некоторые программные противоречия и разногласия между «механистами» и «диалектиками». Например, Тимирязев следующим образом характеризует корни этих разногласий: «Те, кого называют механистами, полагают, что изучение конкретных фактов и явлений природы и общества должно быть доведено до такой ступени, чтобы диалектика этих процессов выступила из них сама... По Деборину, указания диалектики должны предшествовать исследованию»¹¹. А в редакционной статье третьего сборника «Диалектика в природе» эти представления изложены еще более четко: «Нам нужна диалектика в природе, а не выдуманная для природы конструкция. Диалектика, ее законы должны быть, в первую очередь, выводом, а не доводом в научных исследованиях»¹².

На это обвинение Деборин отвечает: «Разумеется, диалектика не есть априорная конструкция; верно, что ее надо искать и в процессах природы. Но что с ней делать после того, как наши поиски увенчались успехом и мы ее нашли? Не должна ли найденная диалектика стать **исходным пунктом и руководящим принципом** для наших дальнейших исследований?»¹³ В своей более поздней работе он еще четче изложил свое понимание статуса диалектики в естествознании: «Современная наука, в частности физика, расшатала основы формально-логического мышления и механических воззрений на мир. Новые понятия, в которых нуждается наука, могут

⁸ Аксельрод (Ортодокс) Л. И. Ответ на «наши разногласия» А. Деборина // Красная Новь. 1927. Кн. 5. С. 159.

⁹ Там же.

¹⁰ Диалектика в природе. Сб. 3. Вологда, 1928. С. 16.

¹¹ Там же. С. 44—45.

¹² Там же. С. 17.

¹³ Деборин А. Диалектика и естествознание. М.; Л., 1929. С. 354.

быть выработаны только логикой диалектической. Кризис современной физики может быть преодолен путем сознательного применения метода диалектического материализма, для развития и обоснования которого в наше время так много сделано Лениным. Для Ленина диалектический материализм являлся единственным объективно-научным методом познания и орудием изменения мира»¹⁴.

В этих представлениях о роли и функции диалектики в современном естествознании есть много здравых мыслей, и они, в той или иной степени, имеют право на существование и реализацию, что и произошло в 60—80-е годы. Что же касается самих «механистов» и «диалектиков», то их вполне можно было бы организовать в виде двух секторов Отдела диалектического материализма Института философии АН СССР. Во всяком случае, многочисленные дискуссии между представителями этих направлений, проходившие в 1925—1928 гг., хотя и сопровождались обвинениями в ревизионизме, но скорее вели к взаимной коррекции доктрин, и можно было прогнозировать их весьма длительное противостояние, не исключавшее возможности сближения точек зрения или даже их синтеза. Но все кончилось внезапно.

«ВЕЛИКИЙ ПЕРЕЛОМ»

В апреле 1929 г. состоялась Вторая всесоюзная конференция марксистско-ленинских учреждений, подытожившая четырехлетнюю дискуссию «механистов» и «диалектиков». Вот как эти итоги излагаются в передовой статье журнала «Под знаменем марксизма»: «Конференция, в которой участвовали представители всех крупнейших научно-исследовательских учреждений страны пролетарской диктатуры, единодушно характеризовала механистов как течение, представляющее «явный отход от марксистско-ленинских позиций в философии». За эту резолюцию голосовали представители таких учреждений, как Коммунистическая Академия, Институт Ленина, Институт Маркса и Энгельса, Институт Красной Профессуры и т. д.»¹⁵.

Важно подчеркнуть, что «механисты» потерпели поражение не в результате какой-то сокрушительной критики представле-

ний этого направления (поэтому их воззрения впоследствии оказалось нетрудно реанимировать, например, в «учении» Т. Д. Лысенко). «Диалектики» не выдвинули каких-либо новых естественнонаучных или философских аргументов, хотя тон их критики стал более резким, а обвинения носили более общий характер. Речь шла не столько о разногласиях между «механистами» и «диалектиками» по философии естествознания, сколько уже о противопоставлении механистических представлений общей доктрине марксизма и коммунизма. «Диалектики» хотя и праздновали победу над «механистами», но крах механистического направления носил не столько научно-философский, сколько политический характер.

Все объясняется тем, что в 1929 г. в полку «механистов» прибыло — в их ряды был зачислен Н. И. Бухарин и многочисленные реальные и мнимые его сторонники по «правой оппозиции». При этом следует учитывать, что уже ноябрьский (1928 г.) Пленум ЦК партии призвал к решительной борьбе с правым, откровенно оппортунистическим уклоном как главной опасностью, указав также, что нельзя ослаблять борьбу и против троцкизма. Непримиимо бороться против оппортунистических уклонов в партии на два фронта и с примиренчеством с ними — такова была директива пленума. А в апреле 1929 г. (одновременно со Второй конференцией марксистско-ленинских учреждений) прошла XVI партийная конференция, которая осудила политические взгляды «правых» как несовместимые с генеральной линией партии. Ноябрьский (1929 г.) Пленум ЦК признал пропаганду взглядов правых оппортунистов несовместимой с пребыванием в партии и вывел Бухарина из состава Политбюро «как застрельщика и руководителя правых капитулянтов».

Среди многочисленных «грехов» Бухарина и связываемой с ним правой оппозиции было и увлечение механицизмом — именно так расценивались бухаринская теория равновесия, его теория производительных сил и т. д. В 1939 г. вышел в свет «Краткий философский словарь» (под редакцией М. Розенталя и П. Юдина), где сообщалось: «Одним из „столпов“ механистического материализма был организатор фашистских шпионов, поборник капиталистической реставрации — Бухарин»¹⁶. В результате всех этих событий ряды «механистов» стали быстро таять.

Однако крах «механицизма» как фило-

¹⁴ Деборин А. Ленин и кризис новейшей физики. М., 1930. С. 29.

¹⁵ Под знаменем марксизма. 1929. № 10-11. С. 1—2.

¹⁶ Краткий философский словарь. М., 1939. С. 196.

софской платформы правой оппозиции означал сигнал тревоги и для самих «победителей», т. е. для «диалектиков» — ведь бой был объявлен на два фронта. Горькую чашу предстояло испить и левой оппозиции, которая связывалась с именем Л. Д. Троцкого. Правда, «диалектики», выступая против правых «механистов», претендовали на роль ортодоксальных марксистов, но это место уже было прочно занято самим Сталиным. Оставалась вакантной лишь роль философской платформы левой оппозиции — и эту роль предстояло сыграть «диалектикам», которых стали, соответственно, именовать «меньшевистствующими идеалистами».

Дискуссии «механистов» и «диалектиков», при всех ошибочных утверждениях с той или другой стороны, сначала протекали в рамках идейно-научной борьбы. Но в конце 20-х годов ситуация резко меняется: и те, и другие получают политическую оценку. Их воззрения, в конечном счете, возводятся к Бухарину и Троцкому, а сами они обвиняются уже не в идейных ошибках, а во вредительской деятельности.

В декабре 1930 г. Сталин встречается с группой «молодых икапистов» (слушателей Института красной профессуры) и дает им «боевое задание». Вот как формулирует его один из участников встречи: «Беседа товарища Сталина с бюро ячейки ИКП философии и естествознания явилась переломным моментом во всей борьбе с деборинщиной. Товарищ Сталин указывал, что необходимо разворошить и перекопать весь хлам, который накопился в вопросах философии и естествознания, разворошить все, что написано деборинской группой, все, что есть ошибочного на философском участке... С гениальной прозорливостью, с величайшим умением разоблачать всякую маскировку врага, какой бы тонкой и завуалированной она ни была, товарищ Сталин раскрыл меньшевистскую сущность воззрений деборинской группы... задачу борьбы на два фронта в области философии: против меньшевистствующего идеализма и против механицизма»¹⁷. Мы приводим здесь столь длинную цитату, чтобы читатель прочувствовал аромат того времени. Чеканный и суровый стиль — это уже не полемика, не идейная борьба. Нужно не дискутировать, нужно разоблачать. Вождь четко формулирует задачу: «Необходимо разворошить и перекопать весь хлам, который накопился в вопросах философии и естествознания». Тут уже не до нюансов. Надо действовать и действовать оперативно.

28 декабря 1930 г. — 6 января 1931 г. происходит печально известная дискуссия на заседании президиума Комакадемии. На ней формируется взгляд на науку, значительно более резкий, чем тот, который мог лишь смутно проглядывать в дискуссиях «механистов» и «диалектиков». Здесь четко формулируется тезис о неспособности старой буржуазной науки обеспечить социалистическую реконструкцию народного хозяйства. Нужна новая, отличная от буржуазной — советская наука. Этот тезис многократно повторяется у многих участников дискуссии, но, пожалуй, наиболее четко в заключительном слове заведующего секцией естествознания Комакадемии О. Ю. Шмидта¹⁸.

Шмидт впоследствии был участником многих легендарных арктических экспедиций, стал одним из первых Героев Советского Союза, академиком, автором популярной космогонической гипотезы. В конце 20-х годов он вел безуспешную борьбу за марксистское образование естествоиспытателей (в сотрудничестве с группой Деборина, представлявшей философское руководство Комакадемии). Эта борьба велась в сравнительно умеренных тонах. Однако, когда на дискуссии в Комакадемии Шмидт подвергся резкой критике, то, каясь в своих ошибках, он стал развивать весьма симптоматичные представления о том, что «если в период „догнать“ мы еще можем как-нибудь терпеть буржуазную науку, то период „перегнать“ имеет своим условием другую науку, которая не может быть буржуазной, а может быть только нашей наукой»¹⁹.

Подобная концепция науки свидетельствовала о произошедшем «великом переломе». Сталин видел «великий перелом» в том, что в колхозы пошел середняк. Конечно, в ином смысле, но середняк пошел не только в колхозы. Средняк пошел и в искусство, и в философию, и в науку. Точнее, ему туда широко распахнули дверь. Чтобы развивать науку, философию, искусство, надо обладать хотя бы минимума профессиональной подготовки (не говоря уже о таких «мелочах», как талант и совесть). Чтобы

¹⁷ Митин М. Боевые вопросы материалистической диалектики. М., 1936. С. VI—VIII.

¹⁸ Секцией естествознания Комакадемии руководили также И. И. Агол, Б. М. Гессен, М. А. Левин и С. Г. Левит — все они были уничтожены в 30-х годах. Что же касается Шмидта, то его планировали «использовать» в большом деле группы террористов-троцкистов, в которую якобы входили многие выдающиеся деятели науки и культуры нашей страны. «Большого дела» не получилось, но даже не вполне удавшиеся подобные попытки влекли за собой тяжелейшие последствия для нашей культуры, например, были уничтожены В. Э. Мейерхольд, М. Е. Кольцов и др.

¹⁹ За поворот на фронте естествознания М.; Л; 1931. С. 75.

«разоблачать, ворошить хлам», проводить в жизнь вздорные установки о «пролетарской науке», требовались только нахрапистость и бессовестность (талант тут даже мешал — «гений и злодейство — две вещи несовместные»). Разумеется, вреден для этого и высокий уровень профессиональной подготовки — он несомненным с попытками создания особой пролетарской науки.

Лозунг создания новой, коренным образом отличающейся от буржуазной, науки (как ее ни называть: советской, пролетарской, социалистической), конечно, требовал совершенно определенного типа ученого. Как известно, если у общества появляется потребность в той или иной личности, то она всегда находится. Тем более, на наш взгляд, это справедливо для личности не великой, но обладающей заданными характеристиками. Короче говоря, такой тип ученого был нужен, и он появился. Мы уверены, что читателю уже пришла на ум вполне определенная фамилия. Да, да, мы имели в виду прежде всего Лысенко. Но дело, безусловно, не в нем одном. Появился легион таких «ученых».

Возвышение Лысенко начинается в 30-е годы. На своем пути к вершинам власти в науке он тесно взаимодействовал с философией. Причем, какова лысенковская наука, такова и взаимодействующая с ней философия. Как лысенковская наука, используя биологический словарь, не становится от этого действительной наукой, так и философия (можно назвать ее митинской, так как именно М. Б. Митин от имени марксизма широко протезировал Лысенко в 30-е годы), используя марксистский словарь, была по своему действительному содержанию далека от марксизма.

Сессия ВАСХНИЛ и «торжество передовой "михуринской биологии"» стали кульминацией той линии развития, начало которой было положено в год «великого перелома»; 30—40-е годы прошли под знаком непрерывно обостряющейся борьбы науки с лженаукой. Правда, здесь мы эти термины употребляем не в том значении, которое придавалось им тогда, а в буквальном смысле, понимая под наукой систему объективного знания, а под лженаукой — политизированные и идеологизированные конструкции, прикрытые марксистской терминологией.

Разгром генетики и торжество идеологизированной биологии задали образец для всех других наук. Конец 40-х — начало 50-х годов, пожалуй, — самый мрачный период в истории советской науки и философии. По образцу сессии ВАСХНИЛ августа

1948 г. проводится в 1951 г. так называемая «Павловская сессия» (АН СССР совместно с АМН СССР), высветившая еще одну очень важную сторону проблемы идеологизации науки. Оказалось, что не только лженаука (à la Лысенко) способна подавлять науку, но и внутри самой науки могут появляться также образования, которые способны с успехом выполнять эту постыдную роль. На наш взгляд, вина ученых-физиологов, включившихся в идеологические игры на «павловской сессии», в нравственном отношении даже превосходит вину Лысенко, так как в свое оправдание они не могут сослаться на невежество.

К счастью, для советской науки, таких «сессий» было немного. Разве что можно еще указать на чуть меньшую по размаху, но не менее вредную по последствиям, шумиху вокруг концепции О. Б. Лепешинской о рождении клеток из живого вещества, приведшую к разгрому цитологии. Но попытки проведения такого рода кампаний имелись в избытке. Акция, аналогичная антигенетической васхнилловской, готовилась в физике. В центральной прессе появилось несколько статей, в которых критиковались «идеалистические взгляды» ряда крупных физиков. Была издана книга «Философские вопросы современной физики» (1952), еще более накалявшая атмосферу. Даже трудно представить себе, в какой глубокой пропасти оказалась бы советская наука, осуществись эти замыслы. Их провал, конечно, обусловлен и объективной необходимостью в действительно научных знаниях (хотя бы для нужд обороны), но в неменьшей степени и нравственной позицией настоящих ученых, решительно отстаивавших интересы науки от идеологического давления (И. А. Рапопорт — в биологии, П. Л. Капица — в физике и некоторые другие).

Феномен идеологизированной науки связан с таким включением ценностных установок самого различного толка (философских, нравственных, религиозных, политических и т. д.) в структуру («тело») науки, при котором подавляется (ограничивается, изгоняется, деформируется) сама ее основа — объективное содержание. Наука как система объективного знания перестает существовать. Ее место занимает некая наукоподобная конструкция, основным наполнением которой становятся облаченные в наряд научной терминологии идеологемы.

Необходимо сознавать, что у этого монстра есть истоки концептуальные и со-

циально-политические. Концептуально идеологизированная наука выросла из крайне вульгаризированной марксистской концепции науки. Марксизм как концептуальная система так же мало ответствен за феномен идеологизированной науки, как, скажем, материалистическое понимание истории К. Марксом — за экономический материализм и вульгарный социологизм. В социально-политическом плане истоки идеологизированной науки — в сложном и противоречивом процессе утверждения нового общественного строя в нашей стране, деформированном борьбой за власть и культом личности Сталина.

Мы рассмотрели истоки идеологизированной науки и ее крах. Однако фиаско потерпела, если можно так выразиться, лишь идеологизированная наука в ее классическом виде, связанная с требованием создания новой «пролетарской науки», принципиально отличной от «растленной» буржуазной науки. Но феномен идеологизированной науки имеет не только классовый аспект. Определяющей чертой этого феномена является обслуживание заданных установок, а не исследование реальной действительности. Конкретный характер этих установок (принципы «единственно научной философии», ведомственный интерес, националистические амбиции и т. п.) не так уж важен для характеристики феномена идеологизированной науки. Важно, что первична установка и вторичен подгоняемый под нее (и при этом неизбежно фальсифицируемый) конкретный материал. В этой ситуации и появляются шедевры типа «развитого социализма» (как было названо общество, стоящее

на грани кризиса). В этом же ряду необходимо упомянуть препарированную «национальную историю», сыгравшую немаловажную роль в известных событиях в Нагорном Карабахе.

Но среди прочих разновидностей идеологизированной науки сегодня для нас особенно опасна ведомственная наука. В ней научное исследование всецело подчинено интересам соответствующего ведомства. Читателю хорошо известны наиболее масштабные и печальные ее достижения: обоснования проекта переброски стока северных рек, перекрытия Кара-Богаз-Гола, возведение ленинградской дамбы и т. д.

Главный урок возвышения и падения идеологизированной науки нам представляется в следующем. Только наука, огражденная от любых поползновений «приспособить науку к такой точке зрения, которая почерпнута не из самой науки (как бы последняя не ошибалась), а извне, к такой точке зрения, которая продиктована чуждыми науке, внешними для нее интересами»²⁰, — только такая наука способна выполнить свое назначение и вооружить общество и человека объективным знанием. Плодотворен только один путь: от научного исследования к принятию политических решений. Совершенно недопустим обратный — от принятых решений к их «научному» обоснованию. При таком образовании наука заменяется идеологизированной наукой, а критическое исследование апологетикой, что ведет к национальной трагедии.

²⁰ Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 26. Ч. II. С. 125.

ОРЕОЛ ВОКРУГ КОСМИЧЕСКИХ аппаратов

А. И. Лазарев,

доктор технических наук

С. В. Авакян,

доктор физико-математических наук

Государственный оптический институт им. С. И. Вавилова
Ленинград

В. И. Севастьянов,

кандидат технических наук, летчик-космонавт СССР
Москва

Появление космической техники позволило использовать преимущества внеатмосферных наблюдений и начать изучение в широком диапазоне электромагнитных волн — от рентгеновских до инфракрасных — таких астрономических объектов, сигналы от которых не удается принимать на поверхности Земли из-за поглощения в атмосфере. Кроме того, автоматические искусственные спутники Земли и пилотируемые космические корабли открыли новый этап исследования слабого собственного излучения верхних слоев атмосферы. Регистрация такого излучения с борта космического аппарата оказалась не просто удобнее и точнее, чем сумеречные или ночные наблюдения наземных обсерваторий. Очень часто — скажем, при изучении дневного свечения верхней атмосферы или регистрации отличий яркости в разных направлениях — этот метод является единственным возможным.

Однако в ходе космических исследований ученые столкнулись со многими неожиданными явлениями. Одной из них оказалось свечение, возникающее у поверхности спутников и кораблей при их полете в верхних слоях атмосферы. Такое свечение, обнаруженное в 1960 г. А. И. Лазаревым и Н. Б. Успенским, с одной стороны, — серьезная помеха многим экспериментам, а с другой — интересное и красивое физическое

явление. Впервые оно было зарегистрировано бортовыми инфракрасными радиометрами в ближней инфракрасной области спектра при спуске космического аппарата на высотах от 170 до 100 км. Интенсивность свечения оказалась на несколько порядков больше, чем у излучения ночной атмосферы, а максимальной яркости оно достигло на высоте 120—130 км.

Визуально такое свечение впервые наблюдали советские космонавты В. А. Шаталов, А. С. Елисеев и Н. Н. Рукавишников в апреле 1971 г. при посадке космического корабля «Союз-10» — первой в истории посадке пилотируемого корабля на ночной стороне Земли. Перед входом аппарата в плотные слои атмосферы, т. е. на высоте около 120 км, космонавты увидели яркое свечение, цвет которого менялся от голубого до розового. У них создалось впечатление, что по яркости такой свет был сравним с солнечным, но это субъективное впечатление объяснялось лишь тем, что их зрение было адаптировано к ночному уровню освещенности. В дальнейшем при ночных посадках ореол у поверхности аппаратов наблюдали и другие советские космонавты, в частности В. Д. Зудов и В. И. Рождественский на корабле «Союз-23» в октябре 1976 г.

За рубежом свечение вокруг космических аппаратов тоже вначале было зарегистри-

ровано приборами — фильтровыми фотометрами американского спутника «АЕ-С», запущенного в 1974 г. на эллиптическую орбиту с перигеем около 150 км для исследования собственного излучения основных составляющих верхней атмосферы и ионосферы: молекулярного азота, атомарного кислорода и ионов O^+ . Аналогичные измерения свечения ночного неба одновременно проводились несколькими наземными станциями. По данным спутника «АЕ-С», интенсивность свечения была выше (иногда в несколько раз), чем из результатов наземных обсерваторий. Это и навело на мысль о существовании светящейся области вокруг «АЕ-С», простирающейся на 5—10 м от поверхности спутника.

Весьма отчетливое свечение наблюдалось около кораблей типа «Спейс шаттл». Первыми его заметили астронавты Дж. Лусма и К. Фуллертон в марте 1982 г. во время третьего полета корабля «Колумбия». Они видели оранжево-красный ореол, простирающийся на расстояние до 20 см от передней поверхности. Затем наблюдения велись при очередных полетах кораблей «Колумбия», «Челленджер» и «Дискавери» в период с июня 1982 г. по октябрь 1984 г. Ценную информацию удалось также получить с помощью спутников «АЕ-С» и «ДЕ-В».

Итак, что же сейчас известно об ореоле, возникающем

вокруг космических аппаратов? Прежде всего, его яркость сильно зависит от высоты полета. К примеру, в четвертом и пятом полетах «Колумбии» интенсивность свечения около корабля была примерно в 3,5 раза меньше, чем в третьем. Это сразу удалось объяснить увеличением высоты полета в двух последних рейсах (около 300 км вместо 240). Зато при восьмом полете «Челленджера», проходившем на высоте 222 км, свечение легко наблюдалось невооруженным глазом. Яркость ореола оказалась пропорциональной плотности основного компонента верхней атмосферы — атомарного кислорода. Судя по данным «АЕ-С», такая закономерность имеет место на высотах более 160—180 км. Ниже 160 км характер зависимости интенсивности свечения от высоты меняется, здесь яркость растет примерно пропорционально квадрату плотности молекулярных компонентов верхних слоев атмосферы.

Интенсивность свечения различна у различно ориентированных плоскостей космического аппарата. И по данным спутников серии «АЕ», и по наблюдениям на кораблях «Спейс шаттл», она всегда максимальна в направлении движения. Однако специальные эксперименты, проведенные во время пятого полета «Колумбии», показали, что ореол есть и сбоку. Наиболее подробные сведения были получены с помощью спутника «АЕ-С». Поскольку этот аппарат вращался таким образом, что оптическая ось фотометра постепенно проходила все направления в плоскости орбиты, удалось измерить угловое распределение интенсивности свечения. Выяснилось, что позади спутника существует другой максимум свечения, вдвое меньший по интенсивности и угловым размерам, чем впереди.

Очень важны спектральные характеристики ореола. Из данных спутника «АЕ-С» следовало, что свечение возникает во всем видимом диапазоне, причем его интенсивность возрастает в красной области. Во время четвертого и пятого полетов «Колумбии» спектральное распределение свечения

впервые было измерено. Оно оказалось сосредоточенным преимущественно в красной и ближней инфракрасных областях, сплошным и довольно однородным в интервале длин волн от 500 до 800 нм. Излучение в диапазоне более длинных волн поглощалось иллюминатором корабля, а в зелено-голубой области спектра сигнал был ниже порога чувствительности аппаратуры. Дополнительные исследования, проведенные во время девятого полета «Колумбии» с помощью приборов европейской космической лаборатории «Спейслэб-1», показали не только наличие излучения в интервале от 200 до 750 нм и широкий максимум его интенсивности при 600—700 нм, но и присутствие в спектре ярких молекулярных полос между 640 и 800 нм, в основном отождествляемых со спектральными линиями азота. Ночные измерения свечения около «Дискавери» в сентябре 1984 г. подтвердили существование пика в красной области с максимумом около 680 нм. В то же время ранние данные А. И. Лазарева и Н. Б. Успенского позволяют предположить, что главный максимум спектра расположен в области 1—2 мкм. Общая яркость ореола в диапазоне от 200 нм и до 5,5 мкм может достигать 0,1 Вт/м², причем интенсивность излучения в инфракрасной области примерно в тысячу раз больше, чем в видимой.

Наконец, на интенсивность свечения сильно влияет как тип материала обшивки, так и его температура. Это следует из детального изучения ореола при полете «Дискавери». Температура поверхности космического корабля в зависимости от солнечного освещения меняется в широких пределах: от —150 °С до +120 °С. Оказалось, что понижение температуры приводит к росту яркости свечения. Интересно также, что на специальных почерненных поверхностях оптических приборов возникает довольно интенсивное свечение. Это может стать серьезной помехой для прецизионных оптических исследований.

После появления первых сведений о свечении у поверхности низкоорбитальных

космических аппаратов было предложено несколько гипотез о причинах его возникновения. Первый анализ возможных механизмов данного явления А. И. Лазарев и Л. И. Гречихин сделали еще в 60-х годах.

Наиболее правдоподобной кажется теория, согласно которой свечение возникает в результате возбуждения частиц собственной разреженной атмосферы, окружающей каждый космический аппарат, при столкновениях с набегающим со скоростью орбитального движения (8 км/ч) потоком молекул и ионов верхних слоев атмосферы Земли. Она объясняет то, что наибольшую яркость ореол имеет у передних плоскостей космических аппаратов, где скоростной напор максимален. Свечение же позади и по сторонам спутников можно объяснить тем, что некоторые частицы имеют достаточно большое время жизни в возбужденном состоянии, чтобы высветиться в кильватерном следе аппарата после его пролета. Для этого такое время должно превышать 1 мс, что, по-видимому, соответствует реальности.

Судя по всему, в элементарных актах возбуждения важную роль играет поверхность спутника или корабля. Зависимость интенсивности свечения от материала обшивки косвенно подтверждает, что оно является не просто излучением газобразной среды вокруг аппарата, а сложным процессом, в большой мере зависящим от каталитических реакций на поверхности. Действительно, в одной из первых работ, посвященных объяснению оранжево-красного ореола, как главный источник излучения рассматривался гидроксил ОН, который образуется в возбужденном состоянии из атомов кислорода и водорода именно у поверхности спутника или корабля. Присутствие в спектрах свечения линий азота, а также пропорциональность интенсивности излучения на малых высотах произведению плотностей молекул и ионных комплексов, в состав которых входит азот, говорят о существовании и таких механизмов возбуждения, в которых участвует этот химический элемент. В одном из них исход-

ным процессом служит диссоциация молекул азота верхних слоев атмосферы при их столкновении с обшивкой (кинетическая энергия налетающих молекул примерно на 0,2 эВ превышает энергию диссоциации азота). Далее происходит ассоциация атомов азота на поверхности корабля или над ней и образование молекул азота в возбужденных состояниях. Эти молекулы и излучают свет. В лабораторных условиях описанный механизм действует. Он лучше других объясняет пропорциональность яркости свечения квадрату плотности молекулярного азота на высотах ниже 160 км. В то же время прямые масс-спектрометрические измерения с борта спутников серии «АЕ» не показали значительной концентрации атомов азота в окрестностях этих аппаратов. Поэтому рассматривался еще один механизм свечения, сводящийся к образованию у поверхности корабля возбужденных молекул двуокиси азота из атомов кислорода и азота. Промежуточный этап этого процесса — образование окиси азота, и недавние эксперименты подтвердили наличие окиси азота около кораблей «Спейс шаттл» в количестве, достаточном для объяснения наблюдаемой яркости свечения. В пользу этого же механизма говорят и данные масс-спектрометров на спутниках «АЕ-С», «АЕ-Е» и «DE-B».

Обсуждаемые гипотезы в совокупности удовлетворительно описывают спектральные и пространственные характеристики ореола вокруг спутников и пилотируемых кораблей. Однако каждая из них основана на той или иной поверхностной химической реакции, протекание которой на обшивке космических аппаратов непосредст-

венно доказать пока не удалось. Поэтому не стоит сбрасывать со счета и прямое ударное возбуждение набегающих на поверхность космического аппарата частиц верхней атмосферы, которое также может быть источником свечения. Здесь все определяется эффективностью перехода кинетической энергии соударения газового потока с поверхностью в колебательное возбуждение молекул. Эффективность такого перехода в наибольшей степени зависит от отношения атомных масс газа и материала обшивки: с ростом этого отношения она увеличивается. Это также объясняет, почему интенсивность ореола у корабля или спутника определяется не только площадью поперечного сечения лобовой поверхности, но и ее материалом.

Итак, при полетах космических аппаратов на околоземных орбитах возникает достаточно интенсивное свечение в виде ореола вокруг них. Это существенно затрудняет исследование слабых источников излучения, и потому при проведении геофизических и астрофизических экспериментов, особенно с высокочувствительной оптической аппаратурой, следует учитывать влияние такого ореола на достоверность полученных результатов.

Каким же образом можно избежать свечения поверхности космических аппаратов или хотя бы ослабить его? Для этого в первую очередь необходимо снизить плотность собственной атмосферы, окружающей аппарат, т. е. уменьшить выделение газов с обшивки и из внутреннего объема. Максимальное газовыделение наблюдается в первые часы после запуска на орбиту, а длительное пребывание корабля или спутника на

большой высоте гарантирует отсутствие газов вблизи него. Видимо, именно поэтому до сих пор не зафиксировано свечение у борта орбитальных станций типа «Салют», которые долгое время эксплуатируются на сравнительно большой высоте (около 350 км). Очень долгое пребывание спутника или корабля в космосе ведет к возникновению множества пор на его поверхности и, как следствие, к увеличению газовыделения после каждого прохода через более плотные слои верхней атмосферы. Увеличивается при этом и вклад каталитических процессов на поверхности в хемилюминесцентные реакции. И все же сравнение интенсивности свечения у кораблей «Спейс шаттл» и спутника «АЕ-Е», движущегося по вытянутой эллиптической орбите, показывает, что у спутника оно слабее в десятки раз. Так что наибольшее свечение наблюдается у лобовой поверхности только что запущенного космического аппарата, и оно может заметно мешать оптическим наблюдениям с кораблей многоразового использования, ведь время их пребывания на орбите не превышает недели.

Уменьшить свечение можно правильным выбором материалов для покрытия поверхностей кораблей и аппаратуры. Так, оптимальным материалом для поверхностей оптических приборов американские специалисты считают обычный полиэтилен. Дальнейшее изучение ореола вокруг космических аппаратов, несомненно, укажет новые пути борьбы с его вредным влиянием, а возможно, и способы его использования в научных или практических целях.

Космические исследования

Запуски космических аппаратов в СССР: сентябрь — октябрь 1988 г.

В сентябре — октябре 1988 г. в Советском Союзе запущено 15 космических аппаратов, в том числе 12 спутников серии «Космос».

На «Космосе-1968» установлена научная аппаратура, предназначенная для исследований природных ресурсов Земли в интересах народного хозяйства СССР и международного сотрудничества.

На спутниках «Космос-1970», -1971 и -1972» отрабатываются элементы и аппаратура космической навигационной системы, создаваемой для определения местонахождения самолетов гражданской авиации и судов морского и рыболовного флотов Советского Союза.

Автоматический грузовой корабль «Прогресс-38» доставил на орбитальную станцию «Мир» различные грузы.

Очередной спутник связи «Молния-3» обеспечивает эксплуатацию системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи, передачу программ Центрального телевидения СССР на пункты сети «Орбита» и в рамках международного сотрудничества, а на спутнике «Радуга» установлена бортовая ретрансляционная аппаратура для телефонно-телеграфной радиосвязи и передачи телевизионных программ.

Перечисленные аппараты были запущены с помощью ракет-носителей «Союз», «Молния», «Циклон» и «Протон».

11 октября 1988 г. Председатель Совета Министров СССР Н. И. Рыжков и Федеральный канцлер Австрии Ф. Враницкий подписали соглашение о проведении совместного советско-австрийского космического полета.

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		пери-гей, км	апо-гей, км	наклонение, град	период обращения, мин
«Космос-1967»	6.IX	206	409	72,9	90,3
«Космос-1968»	9.IX	192	262	82,3	88,7
«Прогресс-38»	10.IX	193	267	51,6	88,8
«Космос-1969»	15.IX	178	373	67	89,7
«Космос-1970»	16.IX	19 102	19 102	64,8	674
«Космос-1971»					
«Космос-1972»*					
«Космос-1973»	22.IX	206	395	72,9	90,2
«Молния-3»	29.IX	646	38 937	62,9	702
«Космос-1974»	4.X	613	39 342	62,8	709
«Космос-1975»	11.X	649	679	82,5	97,8
«Космос-1976»	13.X	206	396	72,9	90,2
«Радуга»	20.X	36 522	36 522	1,5	1 473
«Космос-1977»	25.X	613	39 342	62,8	709
«Космос-1978»	27.X	206	394	72,9	90,2

* «Космос-1970», -1971 и -1972» запущены одной ракетой-носителем.

14 октября 1988 г. министр иностранных дел СССР Э. А. Шеварднадзе и министр иностранных дел Италии Дж. Андреотти подписали соглашение о сотрудничестве в исследовании и использовании космического пространства в мирных целях. Итальянской стороне сделано предложение об участии итальянского космонавта в одном из советских космических полетов.

19 октября 1988 г. министр иностранных дел СССР Э. А. Шеварднадзе и министр иностранных дел Бразилии Р. де Абреу Содре подписали протокол о сотрудничестве в исследовании и использовании космического пространства в мирных целях.

25 октября 1988 г. президент Академии наук СССР Г. И. Марчук и министр научных исследований и технологий ФРГ Х. Ризенхубер подписали соглашение между Академией наук СССР и Федеральным министерством научных исследо-

ваний и технологии ФРГ о научно-техническом сотрудничестве в области исследования и использования космического пространства в мирных целях. Достигнута договоренность о полете западногерманского космонавта на советском космическом корабле и орбитальной станции «Мир»; условия полета будут обсуждены дополнительно.

Космические исследования

Экспедиция на «Мире» в сентябре — октябре 1988 г.

Космонавты В. Г. Титов и М. Х. Манаров вместе с врачом-исследователем В. В. Поляковым, который прибыл на станцию в составе советско-афган-

ского экипажа, продолжали исследовательскую работу на орбите.

После возвращения советско-афганского экипажа на Землю корабль «Союз ТМ-6» был перестыкован с астрофизического модуля «Квант» на переходной отсек станции; цель перестроения комплекса — обеспечить дальнейшие операции по снабжению его топливом и другими грузами с помощью кораблей «Прогресс».

12 сентября космонавты «приняли» очередной грузовой автоматический корабль «Прогресс-38». Среди прочих грузов на станцию были доставлены научные приборы для советско-французского международного экипажа (стартовавшего 26 ноября 1988 г.).

Значительное место в работе экипажа отводилось международной программе астрофизических исследований. С помощью орбитальной обсерватории «Рентген» выполнены серии наблюдений различных астрофизических объектов. В созвездии Лисичка изучалась эволюция температуры и спектра излучения рентгеновской звезды — нового кандидата в «черные дыры». Анализ информации по результатам очередной серии наблюдений нейтронной звезды Геркулес X-1 подтвердил обнаруженный ранее телескопами модуля «Квант» переход рентгеновского пульсара в новую стадию ускорения своего вращения. Завершен очередной цикл наблюдений сверхновой в Большом Магеллановом облаке. Последние данные свидетельствуют о том, что жесткое рентгеновское излучение от сверхновой 1987A за последние 9 месяцев ослабло в 2,5 раза. Такое уменьшение потока — следствие почти полного распада радиоактивного кобальта, образовавшегося при взрыве сверхновой. С помощью УФ-телескопа «Глазар» космонавты выполнили несколько серий съемок участков небесной сферы в созвездиях Лебедь, Скорпион, Телец, Персей, Кассиопея.

В соответствии с программой исследований природных ресурсов Земли и изучения окружающей среды были сфотографированы отдельные районы суши и водной поверхности,

а также отрабатывались методы обнаружения планктонных полей и районов наибольшего загрязнения Мирового океана.

Много времени космонавты уделили биологическим и биотехнологическим исследованиям. В биологических экспериментах, в частности, изучались особенности белкового и кальциевого обмена у высших растений, а также оценивалась устойчивость сложной экологической системы на примере аквариумных рыбок и хлореллы.

На установке «Айнуэр» отрабатывалась технология получения в условиях слабой гравитации монокристаллов белковых препаратов, а на электрофоретической установке «Ручей» совершенствовалась технология получения в невесомости высокоочищенных биологически активных веществ.

Исследование развития семян льна в невесомости под действием искусственного неоднородного магнитного поля проводилось на установке «Магнитогравистат», а с помощью «Светоблока-Г» изучалось взаимодействие растений с почвенными бактериями. В специализированных термостатах продолжались эксперименты по оценке динамики роста и развития культур животных и растительных клеток в условиях космического полета.

5 сентября завершился начатый 10 января биотехнологический эксперимент (он проводился в соответствии с договором между Советским Союзом и Австралией). В условиях невесомости были получены монокристаллы антигена вируса гриппа; в дальнейшем планируется исследовать их свойства и объемную структуру.

На установке «Бирюза» завершена серия экспериментов по изучению механизмов и особенностей образования пространственных структур в ходе химических колебательных реакций в условиях слабой гравитации.

Систематически проводились всесторонние медицинские обследования космонавтов, в которых принимал участие и врач В. В. Поляков.

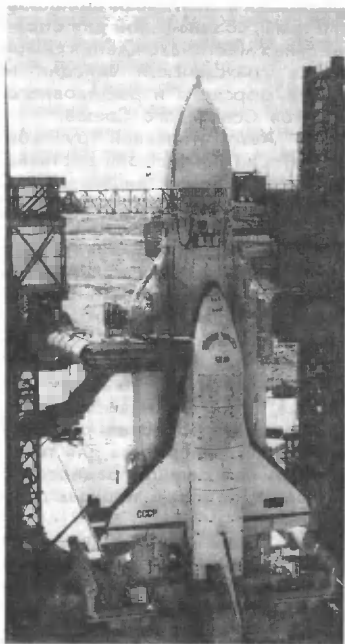
С. А. Никитин
Москва

Космические исследования

Первый полет «Бурана»

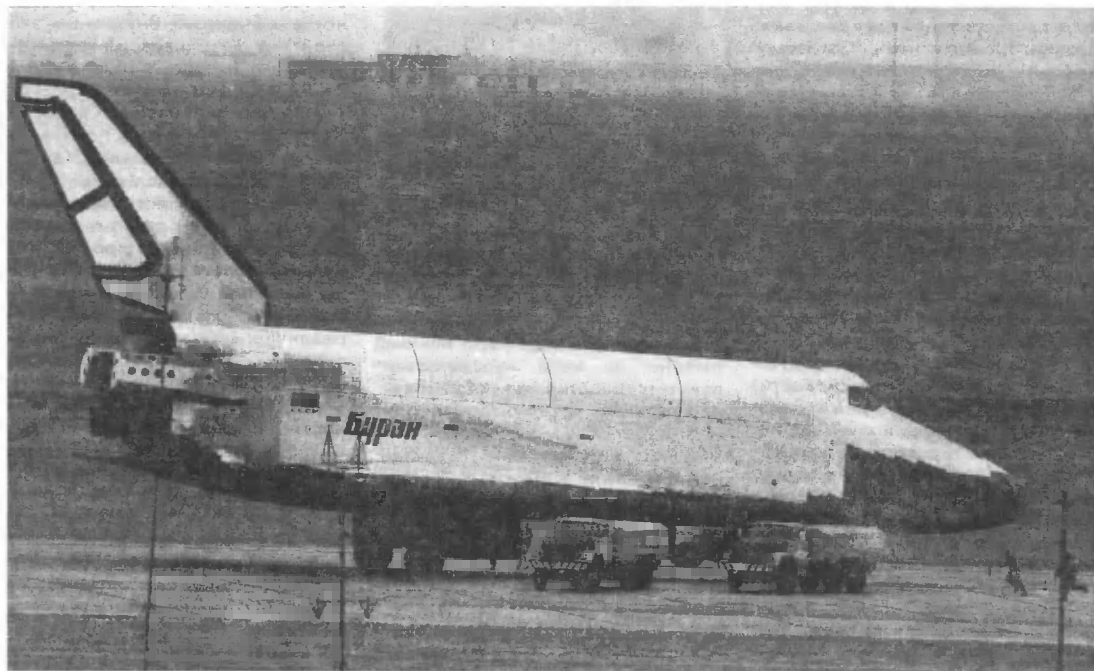
15 ноября 1988 г. в 6 ч по московскому времени в Советском Союзе с космодрома Байконур стартовала универсальная ракетно-космическая транспортная система «Энергия» с орбитальным кораблем многоразового использования «Буран». Первый орбитальный полет корабля был испытательным, без экипажа на борту, «Энергия» доставила «Буран» на высоту около 150 км.

После отделения от второй ступени ракеты-носителя маршевые двигатели корабля вывели «Буран» на орбиту с высотой в перигее 251,6 км, в апогее — 265,7 км, наклонением 51,6° и периодом обращения 89,5 мин. Сделав два витка вокруг Земли, «Буран» в 9 ч 25 мин совершил посадку на специальную полосу вблизи стартовой площадки на космодроме Байконур (продолжительность



Универсальная ракетно-космическая транспортная система «Энергия» с орбитальным кораблем многоразового использования «Буран» на старте.

Фото АПН.



«Буран», выполнив двухвитковый полет по орбите вокруг Земли, приземлился на посадочную полосу космодрома Байконур.

Фото АПН.

полета составила 3 ч 25 мин). Впервые в мировой практике посадка орбитального корабля осуществлена в автоматическом режиме. Программа испытательного запуска была выполнена полностью.

Длина «Бурана» 36,4 м, размах крыльев около 24 м, высота на стоянке 16,5 м; при общей стартовой массе до 105 т корабль способен вывести на орбиту в грузовом отсеке полезную нагрузку до 30 т.

Объединенная двигательная установка «Бурана» работает на кислород-углеродном горючем; общий запас топлива около 14 т. Максимальная продолжительность автономного полета корабля составляет 7 сут, в дальнейшем ее предполагается увеличить до 30 сут.

Садится «Буран» на специальную посадочную полосу длиной около 5 км и шириной 80 м с жесткими требованиями к качеству покрытия; посадочная скорость около 340 км/час.

При сдаче орбитального корабля в эксплуатацию кроме посадочного аэродрома на космодроме Байконур планируется ввести еще два специализированных аэродрома на западе и востоке страны, что расширит возможности использования транспортного космического комплекса.

С. А. Никитин
Москва

Планетология

Спор об обращениях магнитного поля Земли

Силовые линии магнитного поля нашей планеты, «замороженные» в древних геологических породах, говорят о его изменениях в ходе эволюции Земли. Известно, что магнитные полюса дрейфуют, а величина геомагнитного поля со временем существенно меняется; более того, ослабнув до нуля, оно затем возникает снова, но уже с обратной направленностью — северный магнитный полюс становится южным и наоборот.

По некоторым данным, подобное явление повторяется примерно каждые 30 млн лет. С ним, в частности, связывают и массовые вымирания растительных и животных видов (в том числе динозавров). Объясняют это тем, что постепенное ослабление магнитного «щита» Земли в ходе обращения поля позволяло проникать к поверхности планеты губительным для всего живого космическим лучам.

Еще в 1983 г. Дж. Неги и Р. Тивари (J. Negi, R. Tiwari; Национальный геофизический институт, Хайдарабад, Индия) опубликовали результаты изучения многочисленных образцов пород; согласно этим данным геомагнитная активность имеет периодичность около 33 млн лет. В дальнейшем усилиями специалистов ряда стран был разработан сценарий, в соответствии с которым раз в 30—33 млн лет Земля встречается с роем кометных тел, обычно образующих облако не ближе орбиты Плутона, но периодически покидающих его. «Виновицей» такого нарушения обычного движения комет некоторые астрономы посчитали звезду Немезиду — гипотетическую невидимую компаньонку нашего Солнца, кото-

рая совершает один оборот вокруг их общего центра вращения раз в 30 млн лет¹. Согласно другой гипотезе, Солнечная система пересекает галактическую плоскость как раз с такой периодичностью, и именно это служит механизмом, приводящим к обращению магнитного поля.

Однако американские геомагнитологи Т. Лутц (T. Lutz; Университет штата Пенсильвания, Филадельфия) и Дж. Уотсон (G. Watson; Принстонский университет, штат Нью-Джерси) считают подобную периодичность простой случайностью. По их мнению, хотя в интенсивности геомагнитного поля и замечаются максимумы и минимумы, их общий характер хорошо объясняется так называемой моделью долгосрочных вариаций. А появление пика через каждые 30 млн лет связано с тем, что по еще неясной причине количество обращений магнитного поля, происходящих с интервалом в 5 млн лет, в последние 80 млн лет все время увеличивалось. Статистический же анализ эту тенденцию во внимание не принимал, и возникло ложное представление о периодичности длительностью 30—33 млн лет.

Однако на этом дело не кончилось. В своей новой работе Дж. Неги указывает, что наиболее значительные пики геомагнитной активности наступают с интервалами 285 и 34 млн лет. Первый точно соответствует периоду полного оборота Солнечной системы вокруг центра Млечного Пути, а второй — периодичности пересечения Солнечной системой плоскости диска Галактики. Как считает Неги, вероятность случайного характера такого совпадения не превышает 1 %.

Таким образом, дискуссия о периодичности обращения магнитного поля Земли продолжается.

Nature. 1988. Vol. 334. No 6179. P. 240 (Великобритания); Kodaikanal Observatory Bulletin. 1988. Vol. 9. P. 151 (Индия); New Scientist. 1988. Vol. 119. No 1627. P. 32. (Великобритания).

Астрофизика

Нити зазеркалья

Космические нити (или струны)¹ — протяженные одномерные объекты с высокой линейной плотностью массы и толщиной, в 10^{15} раз меньшей размеров атомного ядра, — предсказываются в некоторых моделях современной теории элементарных частиц. В последние годы о них особенно активно говорят теоретики, так как именно на нити «возлагается ответственность» за образование галактик и структуры неоднородностей во Вселенной, их считают источниками гравитационных волн и частиц высоких энергий, эффектов гравитационной линзы и анизотропии реликтового излучения.

По мнению М. В. Сажина (Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга) и М. Ю. Хлопова (Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша АН СССР), решения типа нитей наиболее естественно возникают в моделях Великого объединения, включающих наряду с набором обычных частиц и их взаимодействий зеркальные двойники с теми же свойствами, что и у обычных частиц. В этом случае во Вселенной существует столько же зеркальных астрономических объектов, сколько и обычных, а космические нити определенного типа, называемые нитями Алисы, проходя между этими объектами, меняют их зеркальность.

Современная теория элементарных частиц предсказывает существование макроскопических объектов — нитей, стенок (двумерные объекты, толщиной также на 15 порядков меньше размеров ядра) и более сложных образований. Их присутствие во Вселенной связано с изменением топологии вакуума при фазовых переходах. От обычных космологических нитей нити Алисы отличаются только

способностью менять зеркальность объектов. Внутренне это свойство возникает из-за дискретной симметрии в ряде теорий Великого объединения.

Как указывают Сажин и Хлопов, симметрия обычных частиц и их зеркальных двойников, вводившихся еще Т. Ли и Ц. Янгом² для восстановления эквивалентности левых и правых систем координат в пространстве, представляет собой редкое исключение. В этом случае физический смысл дискретности — различие между правым и левым. Нити, возникающие в такой модели, и есть нити Алисы³. Они делают понятие зеркальности частицы относительным: обычная частица после обхода вокруг нити Алисы становится зеркальной и наоборот. Более того, определение зеркальности частиц слева и справа от такой нити неэквивалентно: частица, определяемая по пути слева от нити как обычная, по пути справа определяется как зеркальная.

Это свойство приводит к целому ряду новых эффектов. Так, прохождение нити между двумя объектами меняет их относительную зеркальность. Излучение объекта, воспринимаемое как обычное, после прохождения нити становится для нас зеркальным, и наоборот — зеркальное излучение начинает восприниматься как обычное. Эффект гравитационной линзы на нити Алисы приводит к тому, что мы видим изображения объекта и в обычном, и в зеркальном свете, причем невидимое слева от нити зеркальное излучение объекта справа от нее воспринимается нами как обычное. Это открывает новые возможности в поиске гравитационных линз.

Зеркальное и обычное излучения квазара могут отличаться и по виду спектра, и по интенсивности линий в нем. Поэтому изображения квазаров при строго одинаковых красных смещениях могут значительно отличаться одно от другого.

Препринт Специальной астрофизической обсерватории АН СССР. 1988. No 9.

¹ Подробнее об этом см.: Нестеренко В. В. Релятивистские струны: от мыльных пленок к объединению фундаментальных взаимодействий // Природа. 1986. No 11. С. 12—19.

² Lee T., Yang C. // Phys. Rev. 1956. Vol. 106. P. 100.

³ Schwarz A. // Nucl. Phys. 1982: Vol. B76. P. 100; Vol. B77. P. 200.

¹ Подробнее о Немезиде см.: Марочник Л. С., Усиков Д. А. Облако Оорта // Природа. 1987. No 12. С. 36—45.

Астрономия

Комета Галлея продолжает удивлять

Известно, что по мере приближения любой кометы к Солнцу вмороженные в ее ядро вкрапления воды и двуокиси углерода все сильнее испаряются под воздействием повышающейся температуры. Именно так и вела себя знаменитая комета Галлея. Миновав Солнце, она ушла в пространство, где космический холод, казалось бы, должен был прекратить бурное выделение газов с поверхности ее ядра. Но обнаружилось, что это не так.

Р. Уэст (R. West; Европейская южная обсерватория, Чили) с помощью электронной камеры сделал 50 снимков кометы Галлея при особенно длительной выдержке (11,5 ч). После обработки на ЭВМ на них были обнаружены сопровождающие комету длинный хвост и огромное гало — светящийся ореол из космической пыли и газа.

Специалисты считали, что такие «украшения» у кометы Галлея должны были исчезнуть годом раньше, когда она удалилась от Солнца на многие миллионы километров. Однако и теперь, находясь в 1250 млн км от нашей звезды и светясь в 5 млн раз слабее, чем мог бы заметить невооруженный глаз (что соответствует 23-й звездной величине), комета не лишилась своего хвоста и гало.

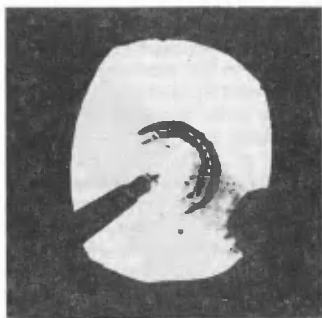
Причину столь удивительного явления еще предстоит установить.

New Scientist. 1988. Vol. 119. № 1625. P. 25 (Великобритания).

Астрофизика

Природа колец вокруг сверхновой 1987А

Телескопы Европейской южной обсерватории, расположенной в горах Чили, обнаружили у сверхновой 1987А два светящихся кольца, которые интерпретировались наблюдателя-



Двойная структура ударной волны в водороде.

ми как видимое «световое эхо» от взрыва этой звезды, дошедшее до нас через год после самой вспышки¹.

Природа наблюдавшегося явления не ясна: представляет ли оно отражение излучения сверхновой от возможных неоднородностей межзвездной среды вокруг звезды, или это закономерное следствие развития взрыва сверхновой. А. А. Филюков (Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша АН СССР) предложил возможное объяснение двойного «светового эха». В численных экспериментах, проводившихся в последние годы в ИПМ АН СССР, моделировались взрывы мишеней, облучаемых мощным лазерным излучением в разреженной атмосфере водорода. В процессе расчетов было обнаружено новое физическое явление — возникновение на ранних стадиях после взрыва мишени вторичной ударной волны, которая движется намного впереди породившей ее первичной ударной волны. Экспериментально существование некоего предвестника ударной волны в водороде было впервые установлено Н. Г. Басовым с сотрудниками более десяти лет назад, но его корректную физическую трактовку как вторичной ударной волны удалось получить только в численных экспериментах.

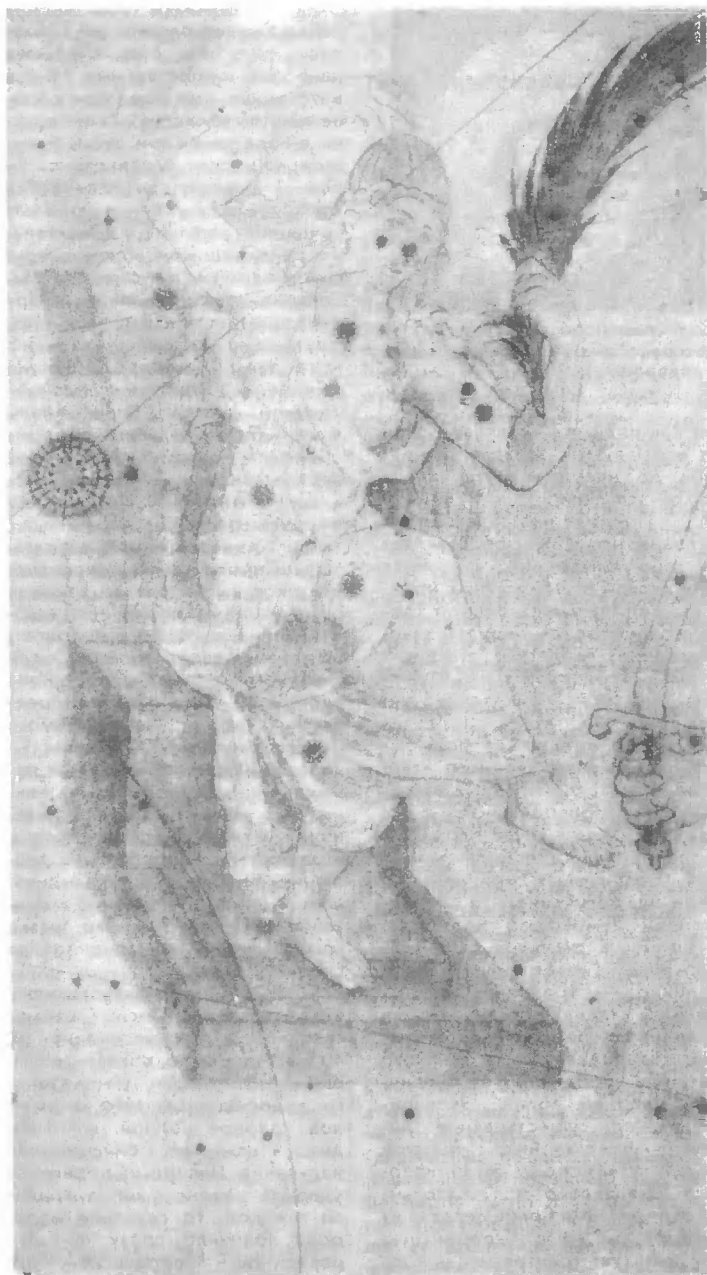
Интересным свойством наблюдавшегося явления оказалось то, что оно отражает наиболее существенные черты неточечных взрывов (типа сброса звездой оболочки). Такие взрывы в водороде (при очень большой мощности лазерного облучения) значительно отличаются от хорошо изученных сильных точечных взрывов. Двойственность светящихся колец вокруг сверхновой и их строгая концентричность позволили автору работы отнести взрыв этой звезды к тому же классу явлений, что и взрыв в водороде, сопровождаемый двойной структурой ударной волны. Сами волны могли быть вызваны сбросом оболочки на той стадии, когда звезда из красного превратилась в голубой гигант. По оценкам американских астрофизиков, такое превращение действительно произошло за несколько десятков тысяч лет до взрыва². За это время первичная ударная волна, вызванная сбросом оболочки, успела пройти в межзвездном водороде расстояние около 400 св. лет, а ее предвестник достиг наблюдаемого радиуса около 1000 св. лет — через 600 св. лет после этого. Приведенные цифры существенны для понимания всего явления в целом, поскольку само возникновение колец и их возмущения связаны с грандиозностью пространственных масштабов, на которых оно разгравается, и с конечностью скорости света.

Как же разворачивалось это явление? После взрыва сверхновой ее излучение за 400 лет достигло области повышенной плотности межзвездного водорода, сжатого первичной ударной волной, и возбудило в нем рекомбинационное излучение. Поскольку первичная ударная волна концентрична со звездой, то свечение водорода возникло сразу по всей поверхности сферической оболочки. Однако наблюдатель с Земли мог первоначально видеть свечение только той части оболочки, которая находилась непосредственно на луче зрения. Свет от более далеких

¹ Подробнее об этом см.: Новое о сверхновой в Большом Магеллановом Облаке // Природа. 1988. № 8. С. 99.

² Басов Н. Г. и др. // ЖЭТФ. 1972. Т. 62. С. 202.

² Maran S. // Smithsonian. 1988. Vol. 19. № 4. P. 47.



Фрагмент звездной карты 1603 г., на котором в левом нижнем углу изображена сверхновая 1572 г. в созвездии Кассиопея с двойным нимбом.

частей оболочки должен прийти позже. Именно такое «запаздывание» и будет определять темп видимого роста колец. По той же

причине свечение внутреннего кольца родилось на 600 лет раньше свечения внешнего и несет информацию о предшествующем состоянии звезды.

Предельного размера внутреннее кольцо достигнет примерно через 400 св. лет, причем оно должно стать замет-

но толще, а затем его радиус начнет уменьшаться. Через 800 лет после взрыва останется только внешнее кольцо, которое к 3000 г. достигнет своего максимального размера, в 25 раз превышающего исходный (в момент первого наблюдения). Оно также исчезнет в конце IV тысячелетия, но это еще не последний акт в истории взрыва сверхновой.

Космическое «эхо», возможно, снова появится в том же месте, поскольку ударные волны от взрыва сверхновой, движущиеся с гораздо большими скоростями, в конце концов нагонят ударные волны от сброса и снова возбудят свечение. Когда это произойдет — покажут наблюдения и расчеты ближайших лет.

Астрономический журнал. 1988. Т. 65. Вып. 5. С. 1094—1097; Доклады АН СССР. 1988. Т. 302. № 5. С. 1082—1085.

Математика

Решение через 200 лет

В 1778 г. великий математик Л. Эйлер предположил, что уравнение $x^4 + y^4 + z^4 = t^4$ не имеет целых решений. 200 лет потребовалось, чтобы доказать, что он был не прав и уравнение имеет бесконечно много решений.

В общем виде уравнение Эйлера можно записать так: $x^n + \dots + x_{n-1}^n = t^n$. Оно представляет собой вариант знаменитой и до сих пор не решенной проблемы теории чисел, известной как последняя теорема Ферма, согласно которой уравнение $x^n + y^n = z^n$ не имеет положительных целых решений при $n > 2$. Ферма утверждал, что доказал эту теорему, однако и по сей день ее общее решение неизвестно, хотя для многих показателей степени имеются частные доказательства. Так, Эйлер доказал ее для случая $n=3$.

В 1966 г. Л. Лэндер и Т. Паркин (L. Lander, T. Parkin; Аэрокосмическая корпорация, Лос-Анджелес, штат Калифорния, США) с помощью компьютера показали, что уравнение Эйлера пятой степени

(т. е. $n=5$) имеет решение. Простой перебор всех возможных комбинаций малых чисел дал следующее решение: $27^5 + 84^5 + 110^5 + 133^5 = 144^5$. Однако подобный поиск решения для $n=4$ был безрезультатен.

Иным путем пошел в 1987 г. Н. Элкис (N. Elkies; Гарвардский университет, США). Он использовал тот факт, что уравнение $x^4 + y^4 + z^4 = u^4$ имеет целые решения. Поэтому задача сводилась к тому, чтобы установить, имеет ли это уравнение решения, если $u=1^4$. Такой подход позволил использовать хорошо известную математикам теорию эллиптических кривых. Уравнение эллиптической кривой было задано компьютеру, который и получил решения уравнения Эйлера. Однако наименьшее число в решении оказалось восьмизначным.

Позднее Р. Фрай (R. Fry; Корпорация мыслящих машин, Кембридж, США) получил «минимальное» решение: $x=95\,800$, $y=217\,519$, $z=414\,560$, $l=422\,481$. (Этот результат объяснил неудачу Лэндера и Паркина).

Поскольку связь уравнения Эйлера с эллиптическими кривыми имеется только при $n=4$, маловероятно, что такой подход можно реализовать для больших показателей. Как предполагают математики, утверждение Эйлера не верно и для всех более высоких показателей, однако в настоящее время это доказано только для $n=4$ и 5.

Science. 1988. Vol. 239. № 4839. P. 464 (США).

Физика

Водородные мазеры на борту космических аппаратов

Квантовый стандарт частоты — водородный мазер — обладает на сегодня наивысшей стабильностью частоты генерируемых колебаний (ее относительное изменение в течение нескольких часов не превышает $3 \cdot 10^{-16}$). Сердце водородного мазера — кварцевая колба, помещенная внутри объемного

СВЧ-резонатора. В ней накапливаются возбужденные атомы водорода, переход которых в основное состояние создает электромагнитные колебания в резонаторе. Чем дольше пребывает возбужденный атом в колбе, тем выше стабильность генерируемой частоты. Поэтому стенки колбы покрывают изнутри тонким слоем фторопласта — возбужденные атомы водорода могут ударяться об этот слой до нескольких десятков тысяч раз, не теряя свою избыточную энергию.

И тем не менее, стабильность частоты водородного мазера можно еще значительно повысить. Под руководством Р. Вессо (R. Vessot; Смитсоновская астрофизическая обсерватория, США) сейчас разрабатывается водородный мазер с резонатором, охлажденным до температур ниже 1 К. Чтобы атомы водорода не осаждались на холодных стенках накопителя, эти стенки покрывали пленкой из сверхтекучего гелия; в результате время пребывания возбужденных атомов в резонаторе значительно увеличилось. Кроме того, при низких температурах уменьшаются тепловые шумы в электронных цепях, можно использовать сверхпроводящие магнитные экраны, повышается механическая стабильность всех элементов конструкции. Ожидается, что относительная нестабильность частоты охлаждаемого мазера не превысит 10^{-18} .

Параллельно эта же группа разрабатывает водородный мазер, который можно будет установить на борту космического корабля. Неохлаждаемый вариант такого мазера весит 44 кг, потребление энергии не превышает 50 Вт.

Компактные источники стабильной частоты на космических аппаратах открывают новые перспективы в астрофизических и гравитационных экспериментах. Так, предполагается разместить в космосе обсерваторию из четырех космических станций, расположенных в углах тетраэдра с ребром $5 \cdot 10^6$ км. Каждая станция будет содержать водородный мазер, антенну радиотелескопа и доплеровскую систему слежения. Последняя базируется на тех же борто-

вых атомных часах и, благодаря их высокой стабильности, позволяет очень точно измерять расстояние между станциями и их скорости. Пары радиотелескопов образуют систему интерферометров со сверхдлинной базой, способных с высокой точностью определять ориентацию комплекса относительно далеких радиисточников.

Подобная система отсчета — прекрасная лаборатория для проверки гравитационных и релятивистских эффектов. Например, если послать сигналы в противоположных направлениях вдоль сторон треугольника, образованного тремя станциями, и измерить их разность фаз после прихода, можно вычислить угловую скорость вращения всей системы с фантастической точностью — $1,6 \times 10^{-19}$ рад/с. Обсуждаются и другие эксперименты в такой уникальной космической обсерватории.

Preprint Smithsonian Astrophysical Observatory. 1988. 28 June (США).

Техника

Микродвигатели

В шести лабораториях США ведутся работы по созданию микродвигателей. Наибольших успехов достигли Р. Мюллер и его коллеги (R. Muller; Калифорнийский университет, Беркли); им удалось изготовить микродвигатель размером 70 мк.

Материалом для элементов двигателя служит поликристаллический кремний, который напыляется на специальные микроосновы — матрицы из двуокиси кремния. Конфигурация матриц определяет форму отдельных элементов двигателя. Технология организована так, что сборка двигателя из элементов происходит одновременно с их изготовлением. После того как на матрицу напылено необходимое число кремниевых слоев, включая подвижные элементы — зубчатые передачи, пружины, кривошипы, ее растворяют химическим путем.

Микроопленки из поликристаллического кремния облада-

ют прочностью, сравнимой со сталью, в то время как в крупных изделиях этот материал хрупок и легко разрушается.

Предполагается, что микродвигатели найдут применение при лечении сосудов и в микрохирургии глаза. Микроскопические насосы на их основе, введенные в ампулу с лекарством, будут регулировать дозы его подачи в организм. С помощью этих двигателей надеются регулировать уровень глюкозы в крови у больных сахарным диабетом, а в зависимости от этого и дозу вводимого инсулина.

Новые микродвигатели найдут применение и в вычислительной технике. Так, сделанные на их основе и встроенные в интегральные микросхемы микронасосы смогут регулировать их температуру. Кроме того, такие микронасосы можно будет применять в системах дистанционной связи для взаимной ориентации лазеров и оптических волокон.

New Scientist. 1988. Vol. 119 № 1628. P. 44 (Великобритания).

Биофизика

ЯМР в биологии

Метод ядерного магнитного резонанса (ЯМР) для изучения биологических объектов имеет существенное преимущество перед другими физическими методами — возможность непрерывного наблюдения за судьбой различных метаболитов в живом организме. В настоящее время для этой цели используют регистрацию спектров ЯМР изотопов ^1H , ^2H , ^{23}Na , ^{31}P , ^{39}K , причем в качестве объекта исследования может выступать культура клеток, отдельные органы и целый организм. Например, Г. Радда (G. Radda; факультет биохимии Оксфордского университета, Великобритания) использовал спектры ЯМР ^{31}P для идентификации болезней. Протонные спектры благодаря высокой чувствительности позволяют измерять химические различия между белым и серым веществом мозга человека *in vivo*. Измере-

ние внутриклеточной концентрации водородных ионов позволяет количественно описать клеточный транспорт; наблюдения за субстратом, меченным изотопом ^{13}C , помогают определить последовательность его превращений, а также измерить скорость ферментативных реакций *in vivo*.

Изучение дрожжевых спор методом ЯМР высокого разрешения объяснило известный факт замедления метаболизма, связанный не с отсутствием в спорах влаги, а, вероятно, с модификацией ферментов.

Методом ЯМР можно оценить величину показателя pH в опухолях. Известно, что опухоли имеют кислую среду из-за высоких скоростей гликолиза, приводящего к образованию молочной кислоты. Однако изучение опухолей человеческого мозга методом ЯМР показало, что значения pH внутри мозга меняются от нейтральных до слабощелочных.

Trends in Biochemical Sciences. 1988. Vol. 13 № 2. P. 37—39 (Великобритания).

Генетика

Мутагены стимулируют биосинтез

В институте эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР исследованиями А. Г. Хволеса и Ж. А. Черняева показано, что действие определенных доз некоторых мутагенов на ооциты животных приводило к дополнительному образованию большого числа ядрышек и резкому увеличению содержания ДНК в ядрах ооцитов, в результате чего активировался синтез белка.

Известно, что ядрышко является наиболее важным структурным компонентом клеточного ядра животных — в ДНК ядрышка находятся многочисленные копии генов для синтеза рибосомальной РНК. Обнаружено, что диметилсульфат и парааминобензойная кислота в минимальных (пороговых) дозах индуцируют амплификацию (возрастание) генов. При этом через определенный интервал времени (2, 4 и 6 ч) количество

ядрышек, а значит, и содержание ядерной ДНК прогрессивно увеличивалось. Это явление может найти применение в биотехнологии.

Доклады АН СССР, 1988. Т. 301. № 4. С. 985—987.

Генетика

Новые гипервариабельные участки ДНК

В последнее время появились данные, что генетическая изменчивость отдельных участков генома человека происходит со скоростью, значительно превышающей обычный темп мутационного процесса. Эти участки генома отличаются широким полиморфизмом (гипервариабельностью), причем установлено, что эту вариабельность вызывают определенные повторяющиеся участки ДНК. Один из таких повторов ДНК был выделен А. Джеффрисом¹.

Совсем другие повторы ДНК в гипервариабельных участках генома человека обнаружены Е. И. Рогаевым (Всесоюзный научный центр психического здоровья АМН СССР). Исследована длинная область размерами 2800 п. н. (пар нуклеотидов), которая, как оказалось, имеет похожие участки у разных животных — от лягушки до обезьяны. Участки генома, которые гибридизовались с данной геномной областью, оказались чрезвычайно вариабельны не только у различных людей, но и у шимпанзе. Чтобы выяснить, какие элементы ДНК ответственные за высокие различия геномных участков, автор расшифровал нуклеотидную последовательность клонированной области. В результате обнаружены два новых ранее неизвестных семейства повторов ДНК, которые могут вызывать нестабильность некоторых участков генома. Каждое из этих семейств организовано в группы, состоящие из следующих друг за другом, «голова к хвосту», коротких (22—24, 36—

¹ См. подробнее: Рысков А. П. Генная дактилоскопия // Природа. 1988. № 3. С. 56—57.

38 п. н.) звеньев ДНК. Такие группы могут перестраиваться и в результате отличаться по структуре у разных людей. Интересно, что выявленные «тандемные» повторы ДНК обнаружены в функционально важных районах генома — вблизи кодирующих генов. В этих повторах ДНК человека имеются участки, сходные с простыми повторами генома эволюционно далекого организма — плодовой мушки (*Drosophila virilis*) и даже с небольшими участками ДНК вирусов.

С помощью выявленных Роговым повторов ДНК можно идентифицировать различия ДНК двух случайных людей, поэтому предложено использовать клонированную область генома, содержащую эти повторы, в качестве зонда-идентификатора для отождествления индивидов по «отпечаткам» ДНК, подобно отпечаткам пальцев в криминалистике.

Доклады АН СССР. 1988. Т. 302. № 1. С. 234—238.

Физиология

Природные бензодиазепины

Бензодиазепины (БД) сегодня — одни из самых распространенных лекарственных средств. Такие транквилизаторы и снотворные, как элениум, седуксен и зюноктин, созданы на основе БД — хлордиазепоксида, диазепам и нитразепам. Необычна история их открытия. В середине 50-х годов сотрудники фармацевтической фирмы Гофман-Ля Рош (Швейцария) синтезировали ряд БД и безуспешно пытались найти у них фармакологическую активность. Но неожиданно в опытах Л. Рэндалла (L. Randall) хлордиазепоксид в малых дозах проявил противосудорожную активность. Так из «мусорной корзины» было извлечено соединение, ставшее родоначальником многих транквилизаторов и снотворных препаратов.

Изучение механизма действия БД привело спустя 20 лет к открытию в мозгу млекопитающих специальных рецепто-

ров к БД, связанных в комплекс с рецепторами к гамма-аминомасляной кислоте (ГАМК). Известно, что ГАМК является важнейшим тормозным медиатором, на долю которого приходится 80 % всего содержания медиаторов коры больших полушарий. БД-рецепторы изменяют свойства комплекса таким образом, что тормозное действие ГАМК усиливается, снимается тревога, блокируется судорожная активность, появляется сонливость. В ходе исследований неожиданно были обнаружены соединения (близкие по структуре к БД), также связывающиеся с БД-рецепторами, но свойства комплекса они меняли в противоположном направлении: действие ГАМК ослаблялось, развивалась тревога, появлялись судороги. Эти соединения называли обратными агонистами, а БД стали называть прямыми агонистами. Оба действия блокируются одними и теми же антагонистами. По аналогии с опиатной системой стали думать, что в мозгу существуют эндогенные вещества — лиганды БД-рецепторов¹. Однако выделить их долгое время не удавалось.

В 1986 г. успех пришел к сотрудникам лаборатории нейробиологии и поведения Университета штата Нью-Йорк (США)². Очистка и идентификация эндогенных соединений, связывающихся с БД-рецепторами в мозгу крыс и быков, показала, что около половины этих веществ приходится на диазепам и его основной метаболит — нордиазепам. Эти же вещества были обнаружены и в человеческом мозгу, хранившемся в формалине с 1940 г., т. е. за 15 лет до химического синтеза первого БД, что доказывает естественное происхождение бензодиазепинов. Концентрация БД в мозгу крысы оказалась 2—5 мкг/кг, что может быть достаточным для оказания физиологического эффекта.

¹ Подробнее об описанной системе см.: Цибульский В. Л. Зачем млекопитающим синтезировать морфин? // Природа. 1988. № 9. С. 108—109.

² Sangameswaran L. et al. // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 1986. Vol. 83. No 23. P. 9236—9230.

В настоящее время остается неясным, могут ли БД синтезироваться в организме животных, но доказано, что они содержатся в растениях и могут поступать с пищей. Однако группа исследователей фирмы Гофман-Ля Рош недавно показала, что в пшенице, кукурузе, рисе, картофеле и других сельскохозяйственных растениях БД содержится чрезвычайно мало: чтобы поднять концентрацию в мозгу до эффективной, человеку пришлось бы съесть 10—100 кг растительной пищи в день³. Авторы полагают, что либо существует специальный механизм аккумуляции БД, либо их синтез происходит в самом организме человека и животных. Этот вопрос остается пока открытым.

В. Л. Цибульский,
кандидат биологических наук
Москва

Медицина

Внутренний термометр

Сотрудники НАСА и Лаборатории прикладной физики при университете Дж. Хопкинса (штат Мэриленд, США) создали датчик-капсулу, которая, будучи проглочена, контролирует температуру внутри тела человека. Прибор был создан для контроля состояния военных, работающих в условиях либо крайнего холода, либо сильной жары, чтобы определить тот момент, когда начинает наступать опасное переохлаждение или перегрев тела.

Получена также лицензия на применение капсулы в медицине: для контроля температуры тела у недоношенных детей, у пациентов, перенесших хирургические операции, и в других случаях.

Капсула длиной 20 мм состоит из кремниевой оболочки, в которой находится батарея, электрический контур с кристаллическим термочувствительным элементом и усилитель. Электромеханическая система кри-

³ Widdman J. et al. // J. Neur. Transmis. 1987. Vol. 70. No 3-4. P. 383—398.

сталл — контур работает аналогично кварцевым электрическим часам; частота колебаний в системе зависит от температуры кристалла.

Батарея работает 72 ч, но может быть перезаряжена, когда капсула покинет тело членика.

В настоящее время планируется разработка более перспективной системы, способной давать информацию о кислотности, перистальтике кишечника, сердечном пульсе.

New Scientist. 1988. Vol. 118. № 1614 (Великобритания).

Биохимия

«Инсулин» беспозвоночных

До недавнего времени считалось, что инсулин и другие важные регуляторные пептиды свойственны исключительно позвоночным. Позже было обнаружено, что антитела, вырабатываемые млекопитающими на инсулин, дают реакцию с неизвестными веществами нескольких видов беспозвоночных (насекомых и моллюсков), что свидетельствовало о наличии у них инсулиноподобных соединений. Вещество такого типа было выделено из тутового шелкопряда (*Bombyx mori*). Им оказался полипептид, состоящий из двух неидентичных цепей, которые на 47 % и 30 % гомологичны цепям А и В молекулы человеческого инсулина. Важно также, что молекула выделенного гормона имеет четвертичную структуру, очень близкую структуре инсулина.

А. Смит (А. Smith; Свободный университет, Амстердам, Нидерланды) обнаружил в моллюске *Lymnaea stagnalis* соединение, которое по аминокислотному составу сходно с гормоном, выделенным из тутового шелкопряда.

Открытие инсулиноподобных соединений у беспозвоночных доказывает, что родственные инсулину вещества возникли, по-видимому, еще до появления позвоночных.

Nature. 1988. Vol. 331. № 6156. P. 483—484, 535—538 (Великобритания).

Зоология

Почему птицы несут яйца?

Р. Риклефс и сотрудники (R. Riklefs; Пенсильванский университет, США) показали, что отсутствие живородящих птиц связано, главным образом, с физиологическими причинами. Отличие птиц от других позвоночных заключается в необычно высокой температуре тела — в покое у большинства птиц она колеблется в диапазоне 40—41 °С. Однако при насиживании яиц температура эмбриона внутри яйца составляет 34—38°. В экспериментальных условиях повышение температуры до 40° и более приводило к высокой смертности эмбрионов. Например, при 40,5° погибало 83,7 % эмбрионов, а остальные страдали от различных нарушений развития. Не только птички эмбрионы чувствительны к повышенной температуре: в настоящее время известно, что при 40° и выше происходит нарушение нормального эмбрионального развития всех наземных позвоночных.

Вероятно, это важнейшие причины того, что птицы несут яйца. Развитию яйца в птицах мешает также плохой газообмен в течение возможного перелета. Эти соображения позволяют сделать вывод, что если бы живородящие птицы существовали, они имели бы одного детеныша и не могли бы в течение периода развития зародыша летать, а температура покоя тела должна была бы быть ниже 39°.

Science. 1988. Vol. 239. № 4839. P. 465 (США).

Зоология

Ласточка-«кукушка»

Репродуктивный паразитизм — явление, когда самка сносит яйцо в чужое гнездо, — известно не только на примере кукушки. Аналогичное поведение орнитологи наблюдают у некоторых ласточек, скворцов и уток, когда самка несет в гнез-

де другой птицы, принадлежащей к тому же виду.

Недавно биологи Ч. Браун и М. Бомбергер-Браун (Ch. Brown, M. Bomberger-Brown; Йельский университет, Нью-Хейвен, штат Коннектикут, США) обнаружили у ласточек-береговух неизвестную до сих пор особенность поведения: ласточка переносила в гнездо соседей, относящихся к тому же виду, снесенное ею яйцо. В 6 % всех гнезд поселения находились чужие яйца. Исследователи считают, что многие подобные случаи остались ими незамеченными.

В одном случае ласточка доставила свое яйцо соседям прямо у них «под носом». Последовала стычка, и вскоре несущую изгнали, но яйцо осталось в гнезде. Ласточки отличать свои яйца от чужих не умеют.

Причины подобного поведения не совсем ясны, хотя известно, что в любом поселении ласточек около 10 % яиц остаются невысиженными. Возможно, самка подбрасывает свои яйца в тот «инкубатор», который действует более продуктивно.

По мнению английского зоолога Н. Дэвиса (N. Davies), репродуктивный паразитизм позволяет особи снизить затраты энергии на родительские заботы и продлить время, в которое самка способна нестись.

Science News. 1988. Vol. 133. № 2. P. 22 (США); Nature. 1988. Vol. 331. № 6151. P. 66—68 (Великобритания).

Экология

Шум маломерного флота

В Московском НИИ гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана в числе различных источников шумового загрязнения среды изучался водный транспорт, в частности моторные лодки и другие суда маломерного флота, приобретающие все большее распространение. Натурные исследования проводились нами в местах жительства и отдыха населения, расположенных на берегах рек и озер (в городах Конакове, Пушкине, Коломне, на оз. Селигер).

Геология

120-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»

Плато Кергелен, расположенное в высокоширотной части Индийского океана, представляет собой одно из крупнейших подводных океанических поднятий: оно протягивается с северо-запада на юго-восток примерно на 2500 км, имея ширину от 200 до 600 км и возвышаясь над дном океана на 2—4 км. Среди геологов до сих пор нет единства во взглядах на природу и историю развития этой структуры. Существуют три взаимоисключающие гипотезы: плато является погруженным континентальным бло-

ком, сохранившимся после раскола и раздвижения Индии и Австралии; происхождение его связано с «горячей точкой»; оно представляет собой участок утолщенной океанической коры, поднятый в результате тектонического движения или разогрева литосферы. Участникам 120-го рейса предстояло решить, какая из гипотез ближе к истине, а также ответить на много иных вопросов геологического развития плато, океанологической и климатической истории региона¹.

В ходе рейса в пяти точках было пробурено 12 скважин: три — в центральной части плато, три — на вершине банки Банзаре, остальные — в пределах впадины Раггат.

Фундамент плато, вскрытый скважинами 747, 749 и 750, сложен плагиоклаз-пироксеновыми толентами досеноман-

Батиметрическая карта плато Кергелен и положение скважин, пробуренных в 120-м рейсе.

¹ Ocean Drilling Program. 1988. Leg. 120. 1, 2.

В г. Конакове, например, расположенном при впадении р. Донховки в Волгу, наиболее интенсивное движение моторных лодок наблюдается в пятницу с 16 ч, в субботу и воскресенье, при этом максимальное их число доходит до 100 в час. Движение моторных лодок и катеров происходит на расстоянии 30—200 м от берега. Время звучания мотора одной проходящей мимо лодки 45—60 с. Опрос населения жилого дома, расположенного в 85 м от берега, выявил, что 57 % жалоб на шум относится именно к шуму моторных лодок, который превышает нормативы как в дневное время (40 дБ А) — на 1—9 дБ, так и в ночное (30 дБ А) — на 3—16 дБ¹.

На оз. Селигер движение лодок и катеров редкое, основная трасса проходит на расстоянии 500—1000 м от береговой линии, а жилые корпуса на турбазах удалены от берега на 70—100 м. Поэтому маломерный флот не оказывает существенного влияния на шумовой режим мест отдыха, что подтверждается опросом отдыхающих. Зато на территории пионерлагеря, расположенного на берегу протоки, в 40—50 м от основной трассы движения маломерных судов и теплоходов, уровни шума превышают нормативные требования для дневного и ночного времени.

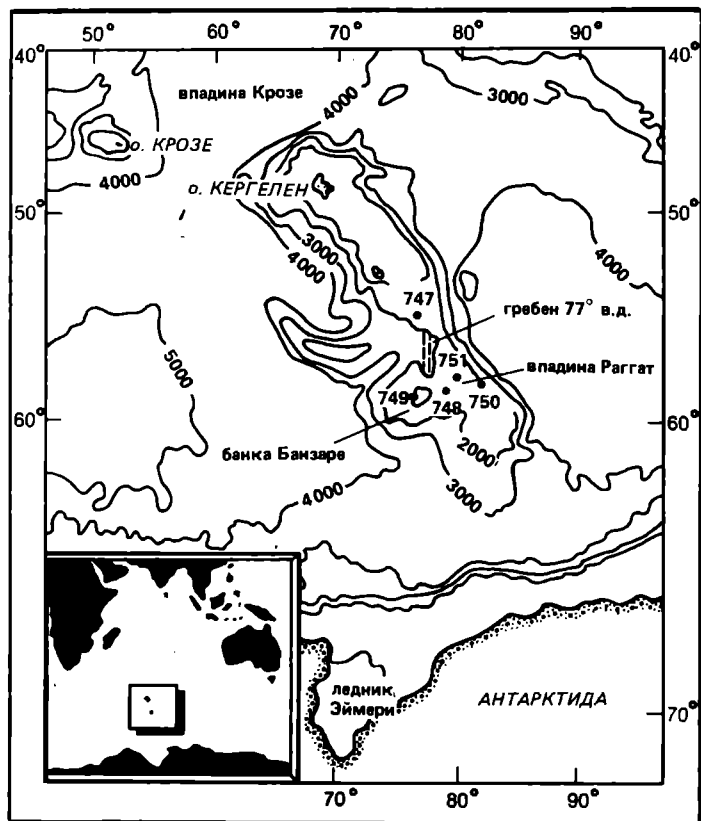
Уровень шума от мотора типа «Вихрь-20» более высокий, чем от «Нептун-23».

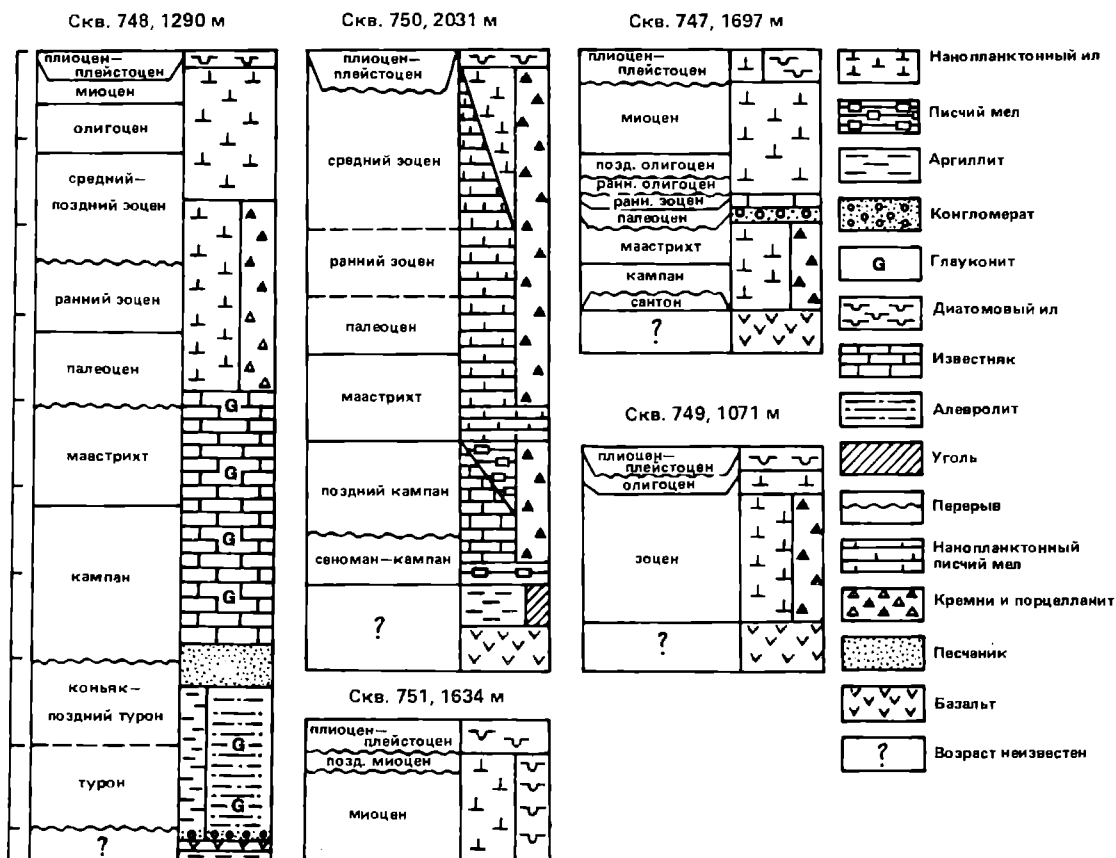
Обеспечение благоприятного акустического режима может быть достигнуто созданием определенной ширины водной зоны, закрытой для судов маломерного флота: 250 м — от береговых границ рекреационных учреждений и 150 м — от жилой застройки. Причалы и стоянки судов маломерного флота должны располагаться не ближе 250 м от рекреационной территории и жилой зоны.

С. А. Солдаткина,
кандидат медицинских наук

В. В. Шишкина,
кандидат медицинских наук
Москва

¹ Уровень шума измеряется в децибеллах по шкале А шумомера, которая учитывает особенности восприятия звука ухом человека.





Колонки скважин с указанием глубины океана в точке бурения.

ского возраста, которые по химическому и петрологическому составу являются переходными между истощенными базальтами срединно-океанических хребтов и базальтами внутриплитовых поднятий, т. е. выплавленными из источника типа «горячей точки». Текстурные особенности указывают, что излияние лавовых потоков происходило в воздушной среде, а вторичные минералы позволяют предполагать последующее преобразование в условиях высокого теплового потока, как это наблюдается в настоящее время, например, в Исландии. Ни в одной из скважин в пределах плато не обнаружено признаков континентальной коры, что свидетельствует в пользу его океанического происхождения.

Осадочный чехол плато вскрыт всеми скважинами. Наиболее полные разрезы мощностью 935 и 675 м получены во впадине Raragat в скважинах 748 и 750 соответственно. Повсеместно чехол сложен преимущественно карбонатными биогенными осадками. В скважине 748 на поверхности базальтовых потоков отмечены остатки почв и наземной растительности.

Таким образом, в 120-м рейсе геологи получили уникальные материалы, которые после всесторонней лабораторной обработки позволят воссоздать исключительную сложную историю формирования и развития одной из наиболее загадочных структур дна Мирового океана. Однако уже сейчас ясно, что возникшее в предсеноманское время в результате излияния базальтов Кергеленского плато, сначала возвышавшееся над уровнем моря, затем в течение сеномана, ту-

рона, коньяка и, возможно, сантона постепенно погрузилось в своей восточной части на глубину около 50 м, в то время как в его западной части сохранялись континентальные или очень мелководные условия. В кампане и маастрихте погружение продолжалось тоже неравномерно. К концу мела восточная часть ушла на глубину около 2000 м и здесь стали накапливаться чистые пелагические карбонатные осадки, а в западной части продолжался процесс мелководного осадко-накопления.

На рубеже 75 млн лет назад отмечен тектонический эпизод. Возможно, он означал начало разделения южной половины плато Кергелен и хребта Брокен (ныне он находится много северо-восточнее плато), сопровождавшееся разломами, образованием грабена 77° в. д. и относительным воздыманием его южного окончания. Начиная

с этого времени повсеместно на плато преобладало пелагическое биогенное осадконакопление: карбонатное — до миоцена включительно и кремнистое — в плиоцен-четвертичное время. Периодически оно прерывалось донной эрозией, которая в наибольшей степени проявилась в среднем эоцене, возможно в ответ на разделение в процессе рифтинга плато и хребта Брокен.

И. А. Басов,
кандидат географических наук
Москва

Геотектоника

Происхождение деканских траппов

Согласно распространенной гипотезе, Деканское плато в Индии с характерными для него трапповыми породами (излившимися базальтами, диабазами) возникло 65 млн лет назад в результате дрейфа Индостанской плиты над неподвижной «горячей точкой» в мантии под о. Реюньон, поставляющей магму ныне действующему на нем вулкану¹. Это мнение опровергают О. П. Панди и Дж. Неги (О. Р. Pandey, J. G. Negi; Национальный институт геофизических исследований Индии, Хайдарабад).

Анализ данных, относящихся к 98 крупнейшим вулканическим эпизодам в истории Земли за последние 250 млн лет, позволил сделать вывод, что примерно через каждые 33 млн лет наступает значительное усиление вулканической деятельности. Связано это, по мнению авторов, с периодическим изменением положения Солнечной системы в пределах Млечного Пути. На территории Индостана установлено четыре вулканических цикла: 135, 100, 66 и 33 млн лет назад. Этим эпизодам найдены соответствия и в других регионах Земли.

О происхождении деканских траппов см. также: 115-й рейс «ДЖОЙ-ДЕС Резолюшн» // Природа. 1988. № 4. С. 117—118.

Вспышка вулканической активности 135 млн лет назад была, очевидно, связана с отделением Индостанской плиты от Антарктической. Вулканические породы Деканского плато возникли, вероятно, когда 65 млн лет назад скорость направленного на север дрейфа Индостанской плиты достигла максимума — 15—20 см/год. Наконец, 33 млн лет назад толчком к активизации вулканической деятельности могло послужить новое резкое изменение скорости этого дрейфа, когда Индостанская плита столкнулась с Евразийской и в результате начался рост Гималайской горной системы. И все это, считают авторы, никак не было связано с гипотетическим прохождением Индостана над Реюньонской «горячей точкой».

Периодичность вулканических эпизодов в Индии подтверждается также недавно обнаруженной периодичностью обращений геомагнитного поля, появления ударных кратеров и других ритмически происходивших геологических событий. Episodes. 1988. Vol. 11 № 1. P. 39 (Канада).

Геотектоника

История возникновения Гималаев

По геофизическим данным, Гималаи продолжают расти, причем в некоторых областях даже с ускорением. В районе хребта Нангапарбат (Пакистан) скорость воздымания земной коры за последние 10 млн лет удвоилась и ныне достигает 7 мм/год. Даже с учетом эрозии подъем составил здесь за этот период около 10 км.

Механизм образования Гималаев детально изучали английские геотектонисты Р. Батлер (R. Butler; Открытый университет в Милтон-Кейнсе) и Д. Прайор (D. Prior; Лидский университет). В ходе дрейфа Индостанский субконтинент 50 млн лет назад столкнулся с Азиатской плитой — началось образование ее крупных складок и формирование Гималайской системы, сопровождавшееся «сокращением» земной коры этого региона на 2 тыс. км по протяженности.

Основным швом между этими блоками земной коры служит главный мантийный надвиг, который образовался при наложении азиатского участка поверхности индостанского. Первоначально он залегал глубоко в недрах и при этом имел почти горизонтальную направленность. Однако затем произошла локальная деформация главного мантийного надвига, которая привела к необычному воздыманию хребта Нангапарбат — ныне во многих районах этот надвиг почти вертикален. Причиной тому послужило формирование под главным надвигом, когда он был еще захоронен в недрах, нового надвига. Строение и минералогический состав пород показывают, что ранний тектонический этап происходил при чрезвычайно высоких температурах, достигавших 450 °С, и деформация была пластичной.

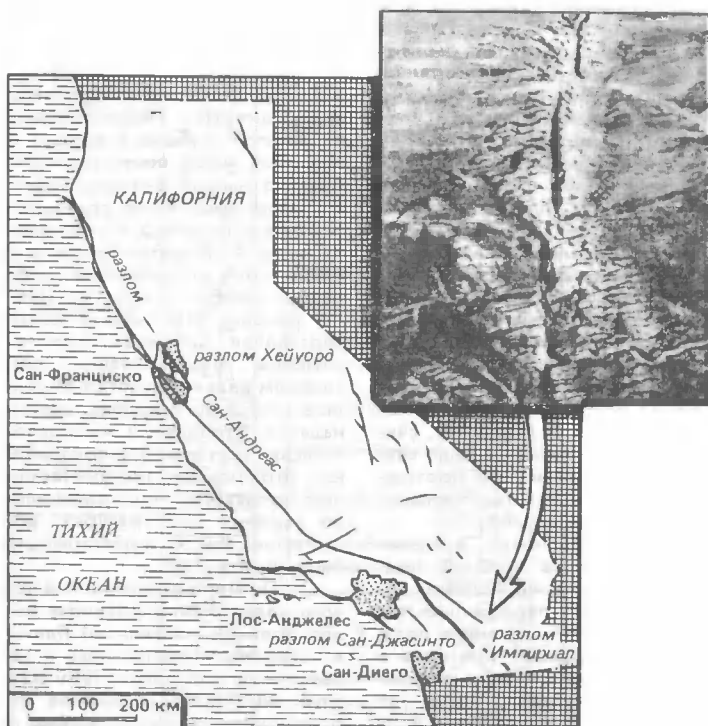
По мере продвижения нового надвига вверх (сквозь более древний мантийный) ближе к поверхности выносились и захваченные при таком процессе глубинные породы. Анализ соотношения изотопов аргона в кристаллах биотитовой слюды указывает, что всего 7 млн лет назад содержащие их породы испытали быстрое охлаждение, очевидно вследствие столь же быстрого подъема и эрозии. Смещение вдоль надвига могло достигать 30 км. По геоморфологическим свидетельствам, лишь за последние 1,3 млн лет эрозии подвергся слой земной коры мощностью до 6 км.

Nature. 1988. Vol. 333. № 6170. P. 247 (Великобритания).

Сейсмология

Калифорния: землетрясения неизбежно

Почти всю территорию Калифорнии пересекает тысячекilометровый разлом Сан-Андреас, обозначающий границу между Тихоокеанской и Северо-Американской плитами земной коры. Повышенная сейсмичность этого района, наблюдаемая с давних пор, связана с трением, возникающим при движении плит друг относительно друга.



Система разломов на территории Калифорнии и фотография одного из ее участков. Все четыре разлома этой системы ответственны примерно за половину мощных толчков, отмеченных в Калифорнии в последние 150 лет.

Точный прогноз крупных землетрясений до недавнего времени оставался дискуссионным. Ныне созданная центральными властями США специальная экспертная комиссия опубликовала результаты всестороннего анализа этой грозной проблемы.

Специалисты утверждают, что вероятность катастрофического землетрясения вблизи Сан-Франциско и Лос-Анджелеса в ближайшие 30 лет составляет по меньшей мере 50 %. В зависимости от того, где именно будет располагаться эпицентр, в какой день и какое время суток произойдет толчок, предсказывается и число ожидаемых жертв, которое может составить многие тысячи, и размеры убытков, способные достичь, по оценкам, 600 млрд долл.

По мнению экспертов, в период между 1988 и 2018 гг.

вероятность землетрясения магнитудой 7,5 по шкале Рихтера достигает в пределах всей разломной системы Сан-Андреас 60 %. В Северной части системы — районе Сан-Франциско — вероятность толчка магнитудой 7,0 в этот отрезок времени близка к 50 %. Крупный портовый город Сан-Диего лежит почти вплотную к разлому Сан-Андреас, а центр многомиллионного Лос-Анджелеса — в 100—250 км от тех сегментов разлома, где риск наибольший. Почти вся территория между ними плотно заселена.

Оба разлома, окаймляющие залива Сан-Франциско (Сан-Андреас и лежащий дальше от моря разлом Хейворд), проходят фактически под всем этим высокоиндустриальным районом. В ближайшие 10 лет шанс испытать толчок магнитудой не менее 7,0 составляет для этой части Калифорнии один к пяти. По берегам залива Сан-Франциско живет около 5,5 млн человек. Население Большого Лос-Анджелеса достигает 12 млн. Известную угрозу для его жителей представляют и побочные

ветви этой системы — разлом Сан-Джасинто и Импириал.

Калифорнийцы до сих пор помнят землетрясение 1906 г. магнитудой 8,3, разрушившее Сан-Франциско. Сейчас высказывается надежда, что опубликование отчета экспертной комиссии будет способствовать принятию профилактических мер, которые позволят снизить предполагаемое число жертв и размеры убытков. Уже укреплены сотни конструкций на путепроводах и эстакадах автодорог штата. Строительный кодекс подвергся новому ужесточению. Многие старые здания укреплены. Предполагается создать систему радиопредупреждения, которая должна успеть оповестить население о происшедшем толчке, если его эпицентр достаточно удален. Истинная эффективность этих мер может быть, однако, определена только в ходе реальных событий.

New Scientist. 1988. Vol. 119. № 1621. P. 33 (Великобритания).

Геохимия

Ремобилизация металлов в центрах спрединга

В центрах спрединга морская вода по трещинам проникает к разогретым базальтам, нагревается, взаимодействует с ними, выщелачивая целый ряд химических элементов, и в результате конвекции выходит на поверхность дна в виде гидротермальных растворов. В местах выхода гидротерм образуются сульфидные руды и окаймляющие их металлоносные осадки. Примером подводных гидротермальных отложений в центре спрединга могут служить металлоносные осадки во впадине Атлантик II, расположенной в Красном море. Группа французских специалистов из университета Пьера и Мари Кюри во время экспедиции «Гидротерма», проходившей на судне «Марион Дюфресн», исследовала эти отложения с целью уяснить генезис накапливающихся в них металлов. Делалось это на основе анализа изотопов свинца.

Обычно изотопный состав свинца в гидротермальных об-

разованиях такой же, как и в базальтах, через которые просачиваются гидротермальные растворы; это подтверждается данными, полученными при изучении гидротермальных построек на Восточно-Тихоокеанском поднятии и на хребте Хуан-де-Фука. Но в металлоносных осадках Красного моря изотопный состав свинца значительно отличается от характерного для базальтов. Кроме того, отношения содержания цинка, меди и свинца к содержанию железа — индикатора гидротермального вещества — оказались выше, чем в базальтах и металлоносных осадках. Все это свидетельствует об ином, чем в базальтах, источнике металлов.

Исследование изотопов свинца показало, что должно быть по крайней мере два таких источника. Один установлен: это биогенно-терригенные осадки, через которые проходят гидротермальные растворы, выщелачивающие из них металлы. Эти растворы и образуют металлоносные осадки с таким же изотопным составом свинца и содержанием металлов, как и в самих биогенно-терригенных осадках, т. е. в данном случае происходит ремобилизация металлов. Другой источник, предположительно также осадочный, пока точно не установлен.

Nature. 1988. Vol. 333. № 6169. P. 165—167 (Великобритания).

Палеоокеанология

История накопления осадков в Атлантическом океане

Е. М. Емельянов, Э. С. Тримонис и Г. С. Харин (Атлантическое отделение Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР) восстановили историю седиментогенеза в Атлантическом океане — позатальные изменения в распределении типов осадков на дне океана, их литологического, минерального и химического состава. Основой для таких построений послужили геолого-геофизические материалы, включая непосредственный литолого-геохимический анализ кернов глубоководных

скважин¹ и образцов донных осадков и осадочных пород, собранных в экспедициях.

В истории седиментогенеза Атлантики начиная с позднечетвертичного времени, когда зародился этот океан, авторы выделяют шесть главных этапов. Смена характера седиментации, резко проявляющаяся на границах каждого из них, была тесно связана с движением литосферных плит и предопределялась возникновением новых геологических и физико-химических условий.

На первом этапе (149—131 млн лет назад) осадки Северной Атлантики имели биогенно-карбонатный состав, характерный для теплых климатических условий и в значительной мере неуследованный от древнего океана Тетис. В этот период в Южной Атлантике — тогда узком бассейне, еще не связанном с Северной Атлантикой, — накапливались преимущественно терригенные глинистые илы. По окраинам обеих частей океана, в лагунах, отгороженных рифовыми известняками, отлагались соленосные толщи. В Норвежско-Гренландском бассейне формировались меридиональные грабенподобные впадины, заполнявшиеся терригенными угленосными и соленосными осадками. Расширение, углубление, а затем и соединение Северной и Южной Атлантики привело к существенному изменению процесса накопления осадков. На этом, втором этапе (115—86 млн лет назад) в большинстве океанских котловин отлагались по преимуществу терригенные глины с высоким содержанием органического углерода. В позднем мелу, особенно в маастрихте (86—65 млн лет назад) в связи с трансгрессией и улучшением аэрации глубинных вод вновь возобладало биогенное карбонатакопление. В это время в котловинах Атлантики появились красные глины (первые аналоги современных глубоководных красных глин), которые указывают на прогрессирующее углубление и расширение океана. Раскрытие Лабрадорского моря и, в незначитель-

ной мере, Норвежско-Гренландского бассейна привело к новому существенному изменению условий седиментации. В палеоцене здесь активно проявились процессы размытия и перетолжения осадков, интенсивно продолжавшиеся и в эоцене. Примерно 54 млн лет назад в связи с похолоданием вод стала усиливаться кремнистая седиментация (диатомовые илы, со временем преобразующиеся в очень твердые породы — кремни и порцелланиты). На этом этапе произошло оледенение Антарктиды, активизировался водообмен между океанами, зародилось холодное придонное антарктическое течение, направленное к экватору. В результате образования пролива Дрейка и отодвигания Австралии от Антарктиды возникло Антарктическое циркумполярное течение. Это существенно отразилось на составе донных осадков и их распределении в Южной Атлантике. Пятый этап (30—5 млн лет назад) характеризуется повышенной скоростью седиментации, вероятно вызванной понижением уровня океана, чему предшествовало уменьшение скорости спрединга и его прекращение на некоторых участках срединно-океанических хребтов. На шестом этапе (5—0,01 млн лет назад) значительное развитие, особенно в Северной Атлантике, получили марино-гляциальные (ледниковые) отложения, появившиеся после оледенения приполярных областей Северного полушария Земли.

Тезисы докладов 8-й Всесоюзной школы морской геологии. Геология морей и океанов. Т. 1. М., 1988. С. 45—46.

Полеоботаника

Конопля у предков шотландцев

Научные сотрудники Университета Сент-Эндрюс (Великобритания) Г. Уиттингтон (G. Whittington) и Дж. Джарвис (J. Jarvis) исследовали виды растительности, произраставшей на севере Британских островов в прошлом. Они подвергли анализу осадочные породы, отложившиеся на дне озер Килконкухар-Лох в графстве

¹ См. также: 114-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн» // Природа. 1988. № 3. С. 111—113.

Файф (Шотландия). Это озеро считается сравнительно молодым — оно образовалось, по видимому, около 13 тыс. лет назад.

Оказалось, что в его донных осадках изобилуют остатки семян конопли обыкновенной (*Cannabis sativa*). Они особенно часто встречаются в слоях возрастом около 1000 лет.

Очевидно, древние жители этих мест хорошо знали и широко культивировали коноплю. Конопляное масло использовалось в светильниках; из конопли изготавливали парусину, брезент, веревки, канаты. Есть свидетельства, что предки шотландцев пользовались смесью конопляного масла с конопляным семенем как лекарством. Были ли им известны наркотические свойства конопли, пока остается неясным.

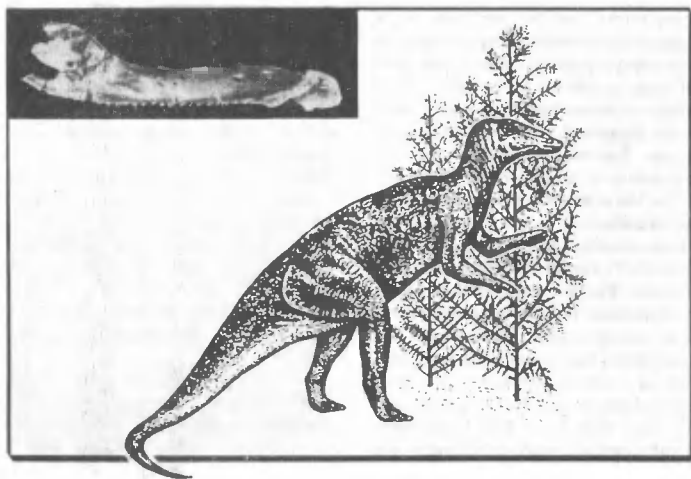
Science News. 1988. Vol. 119. № 1620.
P. 3—5 (США).

Палеонтология

Динозавры — кочевники?

До последнего времени ископаемые ящеры представлялись обитателями главным образом областей с жарким климатом. Однако недавно остатки динозавров обнаружили в северной части Аляски, в бассейне р. Колвилл. Находки в Южной Америке и Австралии подтверждают существование динозавров и в высоких широтах Южного полушария. Это потребовало пересмотра ряда положений палеонтологии.

Изучающие эту проблему Дж. М. Парриш, Дж. Тотман-Парриш (J. M. Parrish, J. Totman-Parrish; Университет штата Аризона, Таксон, США) и Р. Спейсер (R. Spicer; Лондонский университет) отмечают, что в конце октября на севере Аляски наступает полярная ночь, продолжающаяся три месяца, и температура временами падает до -25°C . Такой холод из ныне живущих здесь животных, не впадающих в спячку, переносят лишь овцебыки и северные олени. Но в конце мела на севере Аляски, по данным палеоклиматологии,



Точный вид гадрозавра, нижняя челюсть которого найдена на Аляске, пока не установлен. Весьма возможно, например, что это был изображенный на рисунке анатозавр.

было гораздо теплее: нынешняя тундра была покрыта лесами и цветущими кустарниками, а под ними росли грибы, хвощи и папоротники. Можно полагать, что температура ниже -11° не падала. Как известно, животные приспосабливаются к холодному климату благодаря густому волосанному покрову или впадают в зимнюю спячку, используя всевозможные укрытия (дупла, норы, снежные берлоги). Однако ни рогатые, ни утконосые динозавры, чьи остатки находят на Аляске, не обладали шерстистым покровом. Никакое естественное убежище не могло укрыть на зиму, например, гадрозавра длиной 9 м и массой 3 т.

Логично в связи с этим признать, что многие динозавры были мигрирующими животными: крупные их стада кочевали «вслед за летом» на большие расстояния. Подтверждением этой гипотезы, выдвинутой американским исследователем Дж. Хорнером (J. Horner; Музей Скалистых гор, Бозмен, штат Монтана) и Х. Хатчинсоном (H. Hutchinson; Университет штата Калифорния, Беркли), может служить недавняя находка целого «кладбища» гадрозавров в четко стратифицированных слоях осадочных пород среди скалистых утесов над р. Колвилл.

На территории штата Монтана группа палеонтологов и Университета этого штата обнаружила недавно скопление остатков примерно 10 тыс. динозавров. Их кости заключены в мощном слое пепла, что говорит об одновременной гибели этого гигантского стада в результате катастрофического извержения вулкана около 80 млн лет назад.

В пользу гипотезы кочующих ящеров свидетельствует быть может, и тот факт, что сходные остатки гадрозавров найдены как в западной части Северной Америки, так и в Азии, не когда соединенных «мостом» Берингийской суши, по которому животные могли переходить из одной части света в другую.

К противникам миграционной теории относятся некоторые австралийские ученые. Среди них П. В. Рич и Т. Х. В. Рич (P. V. Rich, T. H. V. Rich; Монашский университет в Клейтоне и Музей штата Виктория в Мельбурне), проводившие раскопки на юго-западном побережье континента. В начале мела этот район находился далеко к Южным полярным кругом. Найденные здесь ископаемые остатки принадлежали лишь сравнительно мелким видам ящеров (не более 2 м в длину). Один из них (семейство гипсолофодонтов) вообще был размером с курицу. Естественно такие животные не могли совершать значительных кочевок, чтобы уйти от полярной ночи им пришлось бы перемещаться не менее чем на 1 тыс. км. Оче

видно, считают противники миграционной гипотезы, им оставалось только приспособиться к холодному климату. И такого размера животные уже могли найти себе убежище для зимней спячки.

Пolemика вокруг проблемы «полярных динозавров» продолжается.

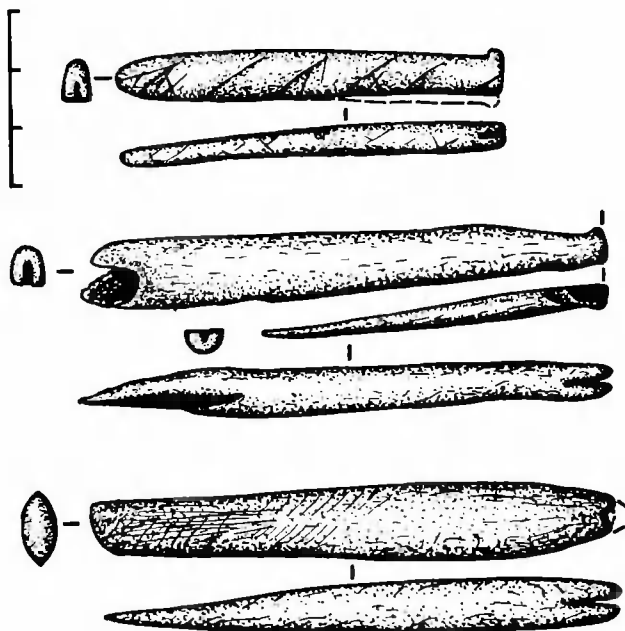
Science News. 1988. Vol. 133. № 12. P. 184 (США).

Археология

Появление железа на Охотском побережье

В составе Северо-Восточно-Азиатской комплексной археологической экспедиции, исследующей под руководством Н. Н. Дикова древние приморские культуры Охотского побережья, автор в полевой сезон 1987 г. вел раскопки на стоянке Ольская в 3 км от пос. Старая Веселая. Эта стоянка относится к токаревской культуре, существовавшей на севере Охотского побережья в середине II—I тысячелетия до н. э.¹ Предположительная площадь стоянки 9 тыс. м². Древнее местное население занималось морским зверобойным промыслом, рыболовством, охотой на оленей, медведей и птиц, а также соби- рательством.

В культурном слое (буром суглинке, расположенном под дерном на гальке) найдены каменные, костяные изделия и один фрагмент керамики. Костяные изделия изготавливались из костей кита, ластоногих, рогов оленей, птичьих костей. В основном это наконечники копий и стрел, острог и гарпунов (в том числе поворотного типа), рыболовные крючки, шилья, проколки, иглы и игольники. Многие костяные изделия имеют следы срезов металлическими орудиями. Ярким свидетельством использования железа в хозяйстве древних охотников Охотского побережья служат наход-



Прорисовки костяных рукояток с пазами для металлических вкладышей и наконечника со стоянки Ольская.

ки костяных рукоятей резцов или гравировальных инструментов, а также наконечника стрелы.

Одна рукоятка представляет собой небольшой уплощенный слегка изогнутый стержень (на рис. — сверху). На одном его конце имеется специальный выступ и очень тонкий (0,5 мм, глубина 0,5 см) паз, параллельный плоскости орудия; другой конец — округлый. На рукояти нанесен орнамент в виде косых резных линий, идущих через определенный интервал.

Другая рукоятка (на рис. — в середине) состоит из двух частей — основного стержня и боковой накладки. У этой рукоятки на одном конце есть двусторонний выступ и узкий (1—1,5 мм, глубина 0,9 см) паз. Сечение в сборном состоянии уплощено-овальное. Другой конец обломан, но, по-видимому, также оснащался металлическим вкладышем и мог использоваться в качестве ножа. На стенках паза имеется налет ржавчины.

Наконечник стрелы линзовидного сечения (на рис. — вни-

зу) с уплощенным насадом имеет узкий, не более 1 мм, паз. Металлическое (железное) лезвие, судя по пазу, имело, вероятно, треугольную форму и основание с выемкой и острыми шипами. Об использовании именно металлического лезвия для наконечника свидетельствуют следы от специально сделанного в верхней части отверстия для штифтика заклепки.

Для стоянки Ольская получены две радиоуглеродные датировки: 1830 ± 30 и — при повторном анализе — 2380 ± 30 . Таким образом, новые данные с Охотского побережья свидетельствуют о появлении железа в этом районе в конце I тысячелетия до н. э. Наиболее вероятно, что железо проникло сюда с территории приамурских и приморских племен. Способствуя развитию морского зверобойного промысла и производству костяных орудий, железо, однако, использовалось в то время крайне редко. Широкое применение железных изделий на северном побережье Охотского моря начинается только на атарганской стадии древнекорякской культуры — с X в. до н. э.

А. И. Лебединцев
Магадан

¹ О североохотской (токаревской) неолитической культуре см. также: Лебединцев А. И. // Природа. 1981. № 3. С. 120; 1983. № 3. С. 118; 1984. № 10. С. 120.

Охрана природы

Диэдрин против саранчи

Северной Африке угрожает самое значительное нашествие саранчи за последние три десятка лет. Началом ему послужили необычно обильные дожди, пролившиеся осенью 1987 г. над засушливыми районами Западной Сахары, в результате чего во многих областях Мавритании зеленый покров занял большую площадь и продержался более длительное время, чем обычно. Это позволило размножиться стаям саранчи, которая вторглась в прилегающие части Марокко и Алжира и даже в более отдаленные Ливию и Тунис. Возникли также отдельные крупные скопления насекомых в Нигере, Чаде и Судане.

В феврале — марте 1988 г. появилось на свет весьма многочисленное новое поколение саранчи, которое, пользуясь попутными ветрами, переместилось в долину Суса, служащую житницей Марокко. Существует опасность, что саранча устремится на юг, в пределы области Сахель, где после длительной засухи возродилась растительность. В таком случае эти вредители укрепятся в данном регионе надолго: вслед за последним их нашествием 30 лет назад, борьба с насекомыми продолжалась здесь целое десятилетие.

Ранее против саранчи активно применялся хлорированный инсектицид диэдрин. Поскольку он вызывал загрязнение среды, был запрещен, и вместо него использовали фенитротрион, который разлагается быстрее и не сохраняет своих токсических свойства.

Сирийский ученый Р. Скаф (R. Skaf) считает, что именно короткий срок активного действия фенитротриона привел к нынешним печальным последствиям. Он указывает, что сильно и длительно действующий диэдрин достаточно было распылять на местности полосами, отстоящими друг от друга на 400 м, и это предотвращало перемещение саранчи, еще не образовавшей рой. При этом

достаточно не более 10 г активного вещества на 1 га, чтобы даже выжившие насекомые давали только мертвое потомство. Несмотря на токсичность диэдрина, несчастных случаев с людьми зарегистрировано не было.

Действие же фенитротриона продолжалось не более трех суток, поэтому его приходилось применять повторно, а это приводило к гибели некоторых насекомых, а за ними — птиц.

К августу 1987 г. стало ясно, что многие крупные рои саранчи избежали воздействия фенитротриона и стали реальной угрозой сельскому хозяйству на больших площадях. По мнению Скафа, применение хотя бы небольшого количества диэдрина в Чаде в 1987 г. и в Мавритании в феврале 1988 г. могло бы приостановить бедствие. Использование же в массовых количествах фенитротриона, утверждает он, принесло окружающей среде еще больший ущерб.

В 1986 и 1987 гг. развитые страны выделили африканским государствам на борьбу с саранчой 93 млн долл. Генеральный директор Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН Э. Саоума (E. Saouma) считает, что в следующие годы потребуются значительно большие средства, и призывает к пересмотру решений, запрещающих использование диэдрина.

Тем временем появление саранчи уже отмечалось по другую сторону Средиземного моря — на крайнем юге Испании и в Италии.

New Scientist. 1988. Vol. 117. № 1605. P. 34 (Великобритания).

Охрана природы

Бородач может вернуться

Менее ста пар бородачей (*Gypactus barbatus*) — крупной хищной птицы, в конце прошлого века часто встречавшейся во многих альпийских долинах, сохранилось в Европе. Несколько

лет назад орнитологи разработали план восстановления его популяции, и сейчас уже достигнуты первые успехи.

Рейнтродукция (возвращение в прежнее среду) бородача вполне осуществима, так как природная среда его обитания в основном сохранилась. В долинах Австрийских Альп, которые он населял, все еще много привычной ему пищи и мест для гнездования. Уменьшение численности этой птицы ранее было связано с тем, что крестьяне считали ее «овце-едом» и уничтожали при малейшей возможности. Однако теперь очевидно, что бородач питается исключительно павшими животными, главным образом овцами, погибшими при частых сходах снежных лавин с горных склонов.

В начале 1987 г. пять пар молодых бородачей в стодневном возрасте, когда они еще не умели летать, перевели из неволи в естественную среду. Для них построили гнезда, похожие на обычные для этого вида птиц жилища. Птенцов сначала кормили смесью крошенных костей домашнего скота, мясом кролика и крысы. В возрасте около 120 суток все они сделали первые попытки летать и вскоре научились охотиться самостоятельно, отказавшись от пищи, приносимой людьми. К птицам, благополучно перенесшим зиму, летом присоединили еще двух молодых бородачей, которые, по-видимому, также неплохо прижились.

Так как бородач приносит потомство лишь на пятом-шестом году жизни, окончательным данным успех пока назвать нельзя. Однако есть надежда, что спустя несколько лет бородач сможет снова стать обычным для мест своего обитания.

New Scientist. 1988. Vol. 117. № 1595. P. 33 (Великобритания).

ЗДОРОВЬЕ-ЗДОРОВЫМ

В. А. Барабой
Киев

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ прогресс быстро и неузнаваемо изменяет условия нашей жизни; природа человека не поспевает за ними. Отсюда очень резкие сдвиги как в демографической структуре, так и в структуре заболеваемости: рост сердечно-сосудистых, онкологических, нервно-психических, аллергических, наследственных заболеваний, «лекарственной болезни», вредных привычек.

Все яснее становится, что усилия медицины, направленные главным образом на лечение больных, не дают кардинальных результатов в борьбе с доминирующей ныне неинфекционной патологией. Книга И. И. Брехмана разъясняет казалось бы очевидную, но еще не всеми осознанную необходимость бороться за здоровье здоровых, чтобы добиться активного долголетия, гармонии тела и духа.

Объективная потребность в научно обоснованной рационализации питания и образа жизни здоровых людей привела к широкому распространению огромного количества всякого рода доморощенных и непрофессионально изложенных «рецептов», имеющих хождение главным образом в среде интеллигенции. Это лечебное голодание, «сыроедение», «творожная», «овощная» и прочие диеты, мифы о «живой» и «мертвой» воде, о биоплазме и биополе, гимнастика йогов и аэробика, каратэ и китайская гимнастика и т. п. Но даже в тех случаях, когда эти рекомендации имеют в основе некое рациональное зерно («мышечный голод» следует компенсировать физическими нагрузками; с переизбытком нужно бороться; сырые фрукты и овощи содержат множество витаминов, микроэлементов и иных полезных вещей), их ра-



И. И. Брехман. ВВЕДЕНИЕ В ВАЛЕОЛОГИЮ — НАУКУ О ЗДОРОВЬЕ. /Отв. ред. М. А. Розин. Л.: Наука, 1987. 126 с.

зумный смысл, как правило, исчезает из-за бессистемности применения, отсутствия обоснованной привязки к конкретным экологическим, профессиональным, возрастным, наследственным особенностям людей. В итоге все эти «диеты» и «мудрые советы» приносят больше вреда, чем пользы.

Как остановить поток захарского фольклора и поставить заслон безответственным публикациям на околемединские темы? Средство одно: нужно насытить книжный рынок высокопрофессиональной научно-популярной литературой о рациональном питании, способах расчета семейных и индивидуальных рационов, оздоровительном беге, ходьбе, езде на велосипеде; необходимы общедоступные научные издания о гимнастике йогов, разумном ис-

пользовании оздоровительного потенциала летнего отдыха и т. п. Целью этих усилий должен стать рост гигиенических знаний, понимания культуры здорового тела как элемента общей культуры.

Пока таких книг немного. Да и те, что есть, часто страдают узким подходом к этой комплексной проблеме. Книга И. И. Брехмана, напротив, представляет собой попытку всестороннего анализа проблемы здоровья. И хотя по сути дела перед нами научная монография, но по стилю изложения, языку, отбору терминов, способам аргументации это книга практически общедоступная.

В первой части «Человек и его здоровье» автор рассматривает весь комплекс воздействующих на человека факторов как триединый поток информации, включающий информацию сенсорную (чувственную, первосигнальную), вербальную (словесную, второсигнальную) и структурную (количество ингредиентов пищи и газов воздуха, включающихся в обмен веществ организма). На первый взгляд, в предложенной И. И. Брехманом классификации отсутствует единый принцип. Но на самом деле здесь нет противоречия, если использовать эволюционный подход. Тогда обмен материальными частицами между организмом и средой — то, что И. И. Брехман называет структурной информацией, — следует поставить на первое место как наиболее простую и древнюю форму обмена информацией. Сенсорный поток можно считать первичной надстройкой над этим общебиологическим фундаментом, а вербальную информацию — надстройкой второго порядка. Выделение структурной информации как самостоятельного потока открывает богатые

практические возможности для формализованного анализа состава пищи, отдельных пищевых продуктов. В результате автору удалось количественно доказать полезность употребления структурно богатых (нерафинированных) продуктов и лекарств, в частности рецептов, широко используемых восточной медициной. В качестве примера (повторяемого, пожалуй, слишком часто) автор показывает преимущества желтого сахара, продукта неполного рафинирования, обогащенного витаминно-микроэлементными добавками.

Еще одно уточнение. Автор относит мышечную деятельность к разряду сенсорной информации. Проприоцептивная чувствительность («мышечное чувство») действительно является элементом сенсорной информации. Но главное в двигательной активности — это собственно мышечные усилия; именно они важны и необходимы для здоровья. Такая деятельность является ответом на ту или иную (сенсорную или вербальную) информацию и, в свою очередь, генерирует ответный информационный поток, к которому, однако, не сводится.

Чрезвычайно ценна в общетеоретическом, да и практически плане идея автора об интеграции информационных потоков как основе стереотипной ответной реакции организма на разные стимулы. «...Если самые различные воздействия физической, химической, биологической и психической природы приводят в принципе к одной и той же реакции, то в организме при этом должны образовываться одни и те же метаболиты, запускающие весь механизм ответной стрессовой реакции» (с. 11). Разумеется, стереотипный характер стресс-реакции не противоречит, а дополняет специфический компонент реакции организма на конкретный стимул.

В первой части книги рассматриваются такие основополагающие понятия, как «норма», «здоровье», «болезнь», «третье состояние» — промежуточное между здоровьем и болезнью.

(Недостаточно критически, на наш взгляд, используется представление о статистической норме.) Ввиду самоочевидности,

аксиоматичности, большинство таких понятий с трудом поддается точному научному определению. Не исчерпывает их сути и автор. Например: «Здоровье человека — его способность сохранять соответствующую возрасту устойчивость в условиях резких изменений количественных и качественных параметров триединого потока сенсорной, вербальной и структурной информации» (с. 27). Здесь по меньшей мере отсутствует критерий «цены» устойчивости организма. Если сохранение гомеостаза обеспечивается ценой крайнего напряжения систем организма, то это болезнь, а не здоровье.

Представление о «третьем состоянии» — уделе большинства так называемых практически здоровых людей — не ново; но в книге оно характеризуется широко, подкреплено множеством фактов и может дать дополнительную информацию, полезную и для специалистов и читателей-непрофессионалов. Анализ таких распространенных синдромов «третьего состояния», как гипотония и гипогликемия, важен и интересен миллионам людей, как и рекомендации по преодолению этих синдромов — путем коррекции пищевого рациона и борьбы с длительными стрессами, психоэмоциональными перегрузками, мышечной разрядки отрицательных эмоций.

Вторая часть, которая носит название «Главные факторы здоровья», посвящена средствам длительного сохранения здоровья, предупреждения и преодоления «третьего состояния». Это, прежде всего, установка самого человека на сохранение здоровья. Такая установка должна быть заложена с детства. В главе, посвященной роли мышечной активности, особенно интересен анализ влияния работы скелетных мышц на состояние всех внутренних органов. Говоря о роли питания, И. И. Брехман вновь широко излагает собственные и литературные данные об отрицательном воздействии на здоровье людей употребления рафинированных пищевых продуктов и о повышении устойчивости организма к любым вредным влияниям при употребле-

нии структурно богатых продуктов (нерафинированное растительное масло, хлеб с отрубями и т. п.).

В завершение второй части книги автор доказывает целесообразность более широко использовать «лекарства для здоровых» — так называемые адаптогены, неспецифические стимуляторы жизнедеятельности организма (экстракты женьшеня, элеутерококка, золотого корня, китайского лимонника, антиоксидантные витамины и т. п.).

Третья часть книги — «Проблемы обеспечения здоровья в настоящем и будущем» — не претендует на полноту анализа. Наиболее интересно здесь попытка понять, почему большинство образованных людей, даже врачей, не следует разумным и обоснованным рекомендациям. «Или человек будущего будет ежедневно выполнять определенный объем двигательной активности, — пишет, в частности, И. И. Брехман, — или он не сможет жить в новом мире» (с. 111).

Книга написана неравнодушным человеком и будет способствовать более широкому распространению убеждения, что «архимедов рычаг медицины и здравоохранения не в воздействии на болезни, а в воспроизводстве здоровья, в осуществлении прямого пути к здоровью» (с. 27).

НОВАЯ ЖИЗНЬ ДРЕВНЕЙ НАУКИ

Ю. Т. Карандеев,
кандидат географических наук
Кривой Рог

АВТОР этой книги занимал особое положение среди своих коллег-географов. Опубликованные им работы составляют более 400 печатных листов, из которых почти половина — научные монографии (последней была «Физическая география в современном естествознании». М.: Наука, 1978). Остальное — общедоступные статьи и научно-популярные книги. В связи с таким творческим балансом, часть географов считала И. М. Забелина скорее писателем (он был членом Союза советских писателей), чем ученым. Хотя в мою задачу не входит оценка всего творчества И. М. Забелина, я должен сказать, что почитаю его как крупного специалиста по истории и теории географической науки. Но моя задача скромнее — рассказать об одной из его последних работ — книге для школьников «Мудрость географии».

О содержании и задачах физической географии, рассказывается в начале книги, среди неспециалистов еще сравнительно недавно бытовало преератное представление. Ее понимали как некоторую систему знаний о том, что Волга впадает в Каспийское море, что Карагие — самая глубокая сухая впадина в СССР, а Эверест — высшая точка земного шара... Действительно, на протяжении многих столетий география оправдывала свое название — она описывала Землю. Но к концу прошлого века это описание в общих чертах было закончено. Казалось, что, выполнив свою историческую миссию, география вступила в полосу безысходного кризиса.

Так ли это? Автор убеждает своих юных читателей, что не так. Сейчас все очевиднее выступает новый социальный заказ, обращенный к географии: она должна отвечать на вопросы, можно ли управлять природными процессами и как ими



И. М. Забелин. МУДРОСТЬ ГЕОГРАФИИ. Крига для внеклассного чтения 10 классов. М.: Просвещение, сер. «Мир знаний», 1986. 192 с.

управлять. А в связи с этим основной задачей физической географии становится изучение внешней оболочки Земли.

Автор дает исторический анализ взглядов ученых на предмет физической географии — голландца Б. Варениуса (первая половина XVII в.), великого немецкого географа А. Гумбольдта (XIX в.), В. В. Докучаева, П. И. Броунова, многих других — и кончает взглядами современных ученых. Он отмечает, что Гумбольдт впервые включил в физическое землеописание жизнь и назвал это всеожиленностью планеты. Спустя столетие В. И. Вернадский ввел в употребление не очень привычное для слуха слово «всюдность» жизни на планете и обосновал понятие биосферы. Пытаясь сформировать свой подход к изучению внешней оболочки Земли, географы

называли ее «географическая оболочка» (А. А. Григорьев, С. В. Калесник), «ландшафтная сфера» (Д. Л. Арманд), «ландшафтная оболочка» (Ю. К. Ефремов), «эпигеосфера» (А. Г. Исаченко) и давали ей однотипные по логике определения.

Однако, — по мнению И. М. Забелина, — более точен и конкретен термин «биогеносфера» — сфера происхождения и воспроизводства жизни, т. е. та часть нашей планеты, где происходит сложнейшее взаимодействие четырех сфер: атмосферы, гидросферы, литосферы (косная часть) и биосферы (живая материя).

Понятие «биогеносфера», по И. М. Забелину, более широкое, чем «биосфера» Вернадского, поскольку Вернадский, как считал И. М. Забелин, не связывал возникновение жизни на Земле с развитием той части планеты, которую назвал «зоной жизни».

Вот этот термин «биогеносфера», а также понимание И. М. Забелиным границ этой сферы вызывали необычайно резкие возражения. Но И. М. Забелин стоял на своем. Он был великий спорщик. Для него не существовало безусловных авторитетов. Он спорил по разным поводам чуть ли не со всеми крупными советскими учеными — А. А. Григорьевым, С. В. Калесником, А. Г. Исаченко, Д. Л. Армандом, Ф. Н. Мильковым и многими другими. Его трудно отразимым оружием была широчайшая эрудиция и мастерское владение пером.

Он не всегда был прав. Например, его убеждение, что география как единая наука не существует и разделилась на две самостоятельные науки — географию физическую и географию экономическую — дискуссионно. Оспаривалось в печати мнение И. М. Забелина, что ландшафты существуют

только на суше и в прибрежье; другие авторы полагают, что существуют и морские ландшафты. И. М. Забелин пытался охарактеризовать взаимосвязь физической географии с другими естественными науками; в отношении физики и химии ему это не удавалось. Но важнее другое: он не уходил в сторону от сложных вопросов, умел будоражить свою и чужую мысль и приводил ее в движение.

Не буду пересказывать сюжет книги — о нем лучше скажут названия глав и некоторых параграфов: «Мысли о путешественниках и путешествиях» («Нон плюс ультра», «Эффект преодоления», «Люди и легенды»), «Постижение географии» («Пространство и география», «Жизнь как планетное явление», «Энтропия и физическая география», «Геохимическая энергия жизни»), «Эволюционная география» («Космос и география», «География и пространство-время», «Цефализация»), «Планета Земля — революционная ситуация» («Ноотехногенез», «Интеллектосфера (ноосфера)», «Географический детерминизм и встречный ход развития географической мысли»).

Так в чем же должна состоять мудрость географии?

В том, считает автор книги, чтобы сблизиться с природой через ее познание.

Чего греха таить — учебным пособиям и многим популярным книгам по географии так не хватает образности языка. В этом плане книга И. М. Забелина — одно из редких счастливых исключений. Язык ее сочен, колоритен. И еще одна замечательная особенность. И. М. Забелин много путешествовал, но его восприятие мира не притупилось, он не потерял способности удивляться увиденному. Поэтому так запоминаются все его зарисовки с натуры, так свежи ассоциации.

Трудно писать о книге друга, еще труднее сознавать, что его нет в живых. Игорь Михайлович умер 10 августа 1986 г., всего лишь 15 дней не дожив до выхода этой книги, в которой большая часть мыслей перекликается с его докторской диссертацией, которую он так и не защитил.

В 1970 г. И. М. Забелин опубликовал книгу «Человек и человечество», в которой высказал ряд спорных положений, в частности о роли интеллигенции в современном обществе, которые были восприняты чиновниками от науки и

литературы почти как политический криминал. Он сразу же стал одиозной фигурой. Написанные И. М. Забелиным книги с трудом проходили в издательствах, их «отфутболивали» от одного рецензента к другому. Журналы редко публиковали его статьи. На защите докторской диссертации (1980) абсолютно все выступления носили положительный характер — однако при голосовании выявился перебор «черных шаров».

Рецензенты и издательства постоянно требовали что-то изменять в его книгах и статьях, но И. М. Забелин, по натуре человек мягкий, доброжелательный, ни на йоту не отступал от своих позиций, когда это касалось его взглядов. Все это приводило к стрессовым состояниям, срывам, и в результате — обширнейший инфаркт.

В заключение хотелось бы повторить то, что уже говорилось об этой книге — она заставляет не только молодежь, но и людей постарше, обремененных степенями и званиями, серьезно задуматься о настоящем значении географии и профессии географа.

География

В. И. Войтов. НАУКА ОПРОВЕРГАЕТ ВЫМЫСЕЛ. О БЕРМУДСКОМ ТРЕУГОЛЬНИКЕ И «МОРЕ ДЬЯВОЛА» / Отв. ред. А. С. Монин. М.: Наука, сер. «Человек и окружающая среда», 1988. 144 С. Ц. 30 к.

Бермудский треугольник... Трудно, пожалуй, сегодня найти человека, который не слышал об этом обширном районе в Западной Атлантике. Таинственные катастрофы самолетов, бесследное исчезновение судов или встречи с кораблями, покинутыми экипажем — вот что всплывает в памяти многих при упоминании о нем. Интерес к событиям в Бермудском треугольнике не ослабевает. Его «проблеме» посвящена обширная пресса. Имеются и обобщения.

Своего рода обобщение фактов делает и автор новой книги В. И. Войтов, океанолог по специальности, неоднократно принимавший участие в экспедициях в этот район. Только это обобщение не устроит любителей сенсаций — в живой, увлекательной форме автор повествует о реальных обстоятельствах многих катастроф, развеивая мифы и домыслы.

Много интересного узнает читатель о природе Бермудского треугольника. В. И. Войтов описывает его с точки зрения естествоиспытателя, стремясь возможно более зримо передать просторы, покрытые плавающими водорослями, животных, населяющих акваторию, лабиринт Багамских о-вов. Вместе с тем в конце показана

несостоятельность гипотез об аномальном проявлении гравиметрических и магнитных полей, о смертоносном действии инфразвука и о природных зеркалах на поверхности океана.

Много места в книге отводится таким грозным явлениям природы, как циклоны, особенно тропические. Они-то, по мнению автора, и являются главными виновниками катастроф в Бермудском треугольнике.

Книга найдет отклик в самых широких кругах читателей, интересующихся проблемами научного анализа «необъяснимых» явлений природы.

За строкой

С. С. Илизаров,
кандидат исторических наук
Москва

АРХИВНОГО документа

18 АПРЕЛЯ 1931 г. Н. И. Бухарин подписал следующее обращение:

«Всем институтам Всесоюзной Академии наук и библиотеке Всесоюзной Академии наук.

Комиссия по истории знаний просит все институты Всесоюзной Академии наук, а также библиотеку Всесоюзной Академии наук оказать всемерное содействие т. Бугаеву Ивану Ивановичу, директору Музея истории естествознания при Коммунистической Академии, и тов. Соболю Самуилу Львовичу, научному сотруднику того же Музея, в работе по выставке истории микроскопа при Коммунистической Академии в Москве путем временного предоставления в распоряжение Коммунистической Академии старых микроскопов, луп, книг, портретов микроскопистов, микроскопических препаратов и других предметов, связанных с выставкой по истории микроскопов. Председатель Комиссии по истории знаний

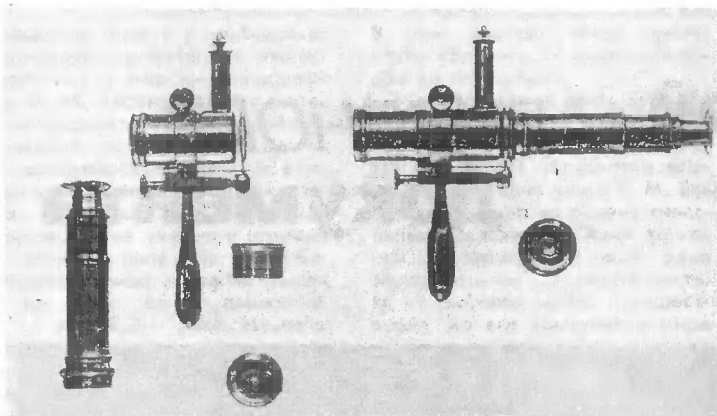
Н. И. Бухарин»

Этот, ранее не публиковавшийся документ обнаружен в архиве С. Л. Соболя (1893—1960)¹, одного из первых советских профессиональных историков науки. Можно строить различные предположения о том, какие мысли и чувства побудили его хранить среди своих бумаг столь опасный листок с личной подписью «главаря троцкистско-бухаринских диверсантов», которая в сталинские годы могла стать неопровержимой и роковой уликой. Но нельзя не испытывать сейчас чувства призна-



Самуил Львович Соболев.

¹ Этот архив находится в Институте истории естествознания и техники АН СССР.



Два комбинированных микроскопа Либериона. Приобретены Екатериной II для преподавания анатомии в Петербургском сухопутном генеральном госпитале.

Из коллекции Музея истории микроскопии.



Тубус четырехлинзового неахроматического микроскопа, сделанный (предположительно) И. П. Кулибным.

тельности тем, кто имел мужество хранить, а не уничтожать.

В силу общеизвестных обстоятельств сохранилось мало документов, связанных с именем Н. И. Бухарина. Недавно прошедший 100-летний юбилей не принес в этом отношении каких-либо ярких открытий. Поэтому любое документальное свидетельство, имеющее отношение к деятельности Бухарина, даже столь лапидарное, приобретает ценность. Кроме того, приступая к реконструкции событий, связанных с ним, можно было почти не сомневаться в том, что этот крохотный фрагмент прошлого скрывает интересную историческую информацию. Природа и свойства исторического источника вообще таковы, что если суметь подобрать «ключи», то с их помощью можно открыть поток немаловажных сведений. Так получилось и на этот раз. Попробуем же восстановить цепь событий, одно из звеньев которой сомкнулось 18 апреля 1931 г.

В первые годы советской власти было создано несколько историко-научных исследовательских центров. Крупнейшие из них: Комиссия по истории знаний при Академии наук (Ленинград) и Секция естественных и точных наук при Комкадемии (Москва).

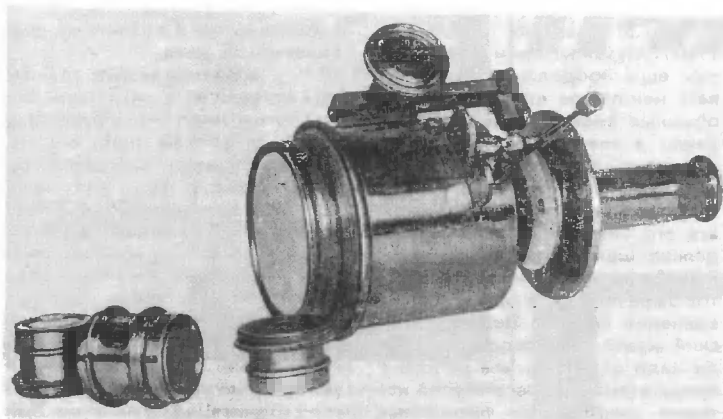
Комиссия по истории знаний (КИЗ) возникла в 1921 г. по инициативе В. И. Вернадского, однако по разным причинам первое десятилетие ее работы не отличалось особой продуктивностью. В 1929—1930 гг. Академия наук подверглась коренной перестройке, и к руковод-

ству Комиссии пришел Бухарин, незадолго до того избранный действительным членом АН СССР. При нем КИЗ получила новый импульс и новое направление. Одной из важнейших ее задач стало создание Музея истории науки и техники.

Дело пошло полным ходом. В те годы быстрыми темпами происходило перевооружение многих производственных отраслей. Комиссия сумела добиться специального постановления Ленсовета, запрещавшего уничтожение старой техники, а совместно с Отделом охраны памятников при Народном комиссариате просвещения был выработан ряд постановлений об охране памятников техники. Разрабатывались, печатались и распространялись по заводам и фабрикам воззвания, обращения и инструкции об учете, охране и передаче в музей отслуживших свой срок старых машин, станков и приборов. Проводилась и другая работа. Коллекции и отдельные предметы — математические, геодезические, астрономические инструменты, медицинские приборы, сельскохозяйственные орудия, велосипеды и т. д. — поступали из ранее существовавших музеев, научных учреждений, лабораторий, приносились в дар отдельными лицами. В результате уже к концу 1932 г. Музей и Институт истории науки и техники АН СССР (образован на базе КИЗ) владели более чем двумя тысячами ценнейших экспонатов. Началось их научное описание и подготовка экспозиций.

Однако дальнейший ход событий — трагическая судьба Бухарина, определившая и судьбу Института (закрыт 15 февраля 1938 г.), и судьбу ряда сотрудников — привел к прекращению музейной работы. Коллекции постепенно рассеивались по различным музеям и учреждениям. Шел, пользуясь языком тех лет, процесс окончательной ликвидации «последствий троцкистско-бухаринского вредительства на фронте истории науки и техники».

Иначе, хотя и не менее драматически, сложилась судьба Музея истории естествознания при Коммунистической Академии, высшем учебном и научно-



Солнечный микроскоп Цейгера, изготовленный (предположительно) И. И. Беллениным, который был в конце XVIII в. главным специалистом по конструированию микроскопов в Петербургской Академии наук.

исследовательском учреждении, основанном еще в 1918 г. (под названием Социалистическая Академия) при непосредственном участии В. И. Ленина. В 1924 г., по предложению О. Ю. Шмидта, там была создана Секция естественных и точных наук, а затем Кабинет истории естествознания с задачей постепенного превращения его в исследовательский институт. Среди немногочисленных сотрудников этого подразделения был С. Л. Соболев, которому, очевидно, и принадлежала идея создания музея. В конце 20-х годов здесь развернулась активная деятельность по собиранию памятников научной старины, физических инструментов, старинных глобусов, карт и прочего.

Случилось так, что среди поступавших предметов начали выделяться в самостоятельную коллекцию микроскопы. И уже в 1930 г. на первом Всероссийском музейном съезде, проходившем в Москве, Соболев представил доклад об организации выставки по истории микроскопа. В апреле 1931 г. Комкадемия командировала сотрудников кабинета истории естествознания Бугаева и Соболя в Ленинград. В связи с этой командировкой и возник тот документ, которым начался наш рассказ.

Экспонаты, поступавшие в Кабинет истории естествознания из АН СССР, Военно-меди-

цинской академии, университетов и научно-исследовательских учреждений, сразу же подвергались научному описанию. Эта работа, требовавшая специфических знаний и навыков, проводилась С. Л. Соболевым и В. П. Карповым — выдающимся специалистом в области оптики и микроскопии, а также античной культуры (ему принадлежит, например, один из лучших переводов естественнаучных трудов Аристотеля).

Однако Кабинет истории естествознания Комкадемии существовал недолго — спустя месяц после упомянутой командировки Соболя и Бугаева в ходе реорганизационной перестройки он был упразднен, а музейные предметы переданы в Политехнический музей. К этому времени в состав коллекции входило около ста простых и сложных микроскопов и микроскопических препаратов XVIII в., в том числе первый ахроматический микроскоп, сконструированный петербургским академиком Ф. Эпинусом, образцы микроскопов всех европейских конструкторов и фирм XIX в., множество препаратов, принадлежавших крупнейшим отечественным биологам XIX в., практически исчерпывающей полноты коллекция микротомов и другие вспомогательные аппараты. И по количеству, и по качеству предметов, среди которых были уникальные, это собрание было одним из лучших в мире и требовало особых условий хранения, которых не приходилось ожидать от Политехнического музея, имевшего совсем другой профиль.

Соболев, понимавший эти обстоятельства лучше других, боролся, обращаясь в различные инстанции, за право хотя бы охранять свое детище. В его архиве сохранилось много интересных документов, с помощью которых можно буквально по годам проследить дальнейшую судьбу коллекции микроскопов и неутомимую деятельность Соболя по ее спасению. Отмечу главные вехи.

В 1936 г. ему удалось приступить к работе с историческими микроскопами в стенах Политехнического музея, сотрудником которого он на время стал. Пришлось начинать все сначала: разыскивать в хранилищах микроскопы и проводить инвентаризацию. К этому времени пропало свыше тридцати экспонатов, в том числе серебряный микроскоп И. Н. Либеркюна середины XVIII в.

Однако Соболев вновь полон оптимизма, идей, планов и проектов. За короткое время ему удалось увеличить коллекцию почти на сто единиц, и он снова готовит обширное обоснование задач и тематического плана Кабинета истории микроскопа и микроскопической техники. Но то, что Соболев предлагал в своих проектах, противоречило задачам и практике Политехнического музея. Фактически внутри существующего музея должен быть создан большой новый, разрывающий структуру старого Политехнического.

Понимая это, Соболев обратился к президенту АН СССР В. Л. Комарову с предложением о передаче сохранившейся части коллекции микроскопов Академии наук, которое нашло поддержку. При Бюро Отделения биологических наук АН СССР был создан Кабинет истории микроскопии и микротехники. Заведующим был назначен Соболев. Других сотрудников Кабинета за время его существования не имел.

В конце 30-х — начале 40-х годов коллекция выросла в несколько раз. Были получены ценнейшие экспонаты из старейших вузов и научных учреждений Москвы, Ленинграда, Киева, Одессы, Саратова и других городов. Так, например, незадолго до войны Соболев привез свыше тридцати приборов XVII—

XIX вв. из Киева, 20 предметов из бывшего Музея истории науки и техники он сумел получить в Ленинграде. О Кабинете истории микроскопии заговорила не только научная пресса, но и центральные газеты. В военные годы наиболее ценная часть коллекции была эвакуирована во Фрунзе, а вскоре после окончания войны Кабинет истории микроскопии вошел в тогда созданный Институт истории естествознания, директором которого был назначен В. Л. Комаров.

Здесь на базе Кабинета был организован Отдел истории микроскопии во главе с Соболевым, впервые за многие годы получившим благоприятные условия для исторических изысканий. Уже в 1947 г. была развернута экспозиция Музея истории микроскопии. К этому времени количество предметов коллекции составляло около трех с половиной тысяч — это было одно из самых крупных в мире собраний такого рода. В последующие годы фонды Музея продолжали постоянно пополняться. Велась большая работа по систематизации и научному изучению музейных предметов. Существенна также роль Музея в популяризации истории науки и научных знаний. В 1949 г. С. Л. Соболев была опубликована монография «История микроскопа и микроскопических исследований в России в XVIII в.», которая была отмечена Сталинской премией.

Со смертью Соболева в 1960 г. Музей истории микроскопии еще продолжал существовать некоторое время². Однако обычные сложности с помещением, а главное — незаменимость подлинного энтузиазма, подвижничества и научной страсти, характерных для Соболева, — все это оказалось решающим в дальнейшей судьбе музея. В 1968 г. основная часть экспонатов была передана на временное хранение снова в Политехнический музей. Справедливости ради надо отметить, что работа с предметами бывшего Музея истории микроскопии продолжалась. Наиболее значительный труд принадлежит Л. Е. Майстрову (1920—1982) — человеку, также отдавшему многие годы жизни идее создания Музея истории науки и собиранию памятников научной старины³.

Здесь придется поставить точку, хотя события и процессы, начавшиеся более полувека назад, не завершены. Очевидно, полезность любой ретроспекции определяется и тем, в какой степени обращение к прошлому помогает не просто лучше понять

настоящее, но и выявить не реализованные дела.

У читателя может возникнуть вопрос: ну и что, зачем обо всем этом надо было рассказывать и зачем нам знать все это сейчас? Ответить несложно. Не говоря уже о том, что наше прошлое и знание о нем есть ценность абсолютная, имеется, к сожалению, и другой, так сказать, более прагматический ответ. Наш небольшой, тезисно изложенный здесь рассказ — лишь одна из страниц пространной истории о том, как задумывался, проектировался, собирался, строился, но так и не был создан Музей истории науки и техники. У Самуила Львовича Соболева было много и других направлений работы. Достаточно сказать, что благодаря главным образом его усилиям, у нас издано ни с чем не сравнимое по полноте комментированное многотомное собрание сочинений Ч. Дарвина. Но он отдал много сил и лет своей жизни борьбе за сохранение уникальной коллекции исторических микроскопов, потому что рассматривал ее как основу и опыт для создания в СССР общего большого Музея истории науки, «в котором так нуждается наша страна, остающаяся в настоящее время единственной из великих стран мира, не имеющей подобного музея». Эти строки были написаны Соболевым более сорока лет назад. Они, к сожалению, остаются актуальными и сейчас.

² Вероятно, последнее печатное известие о Музее опубликовано в «Природе». См.: Кособутский В. И. Музей истории микроскопии // Природа. 1966. № 8. С. 106—108.

³ См.: Майстров Л. Е. Приборы и инструменты исторического значения. Микроскопы. М., 1974.

Научные редакторы:

И. Н. АРУТЮНЯН,
О. О. АСТАХОВА,
Л. П. БЕЛЯНОВА,
А. В. ДЕГТЯРЕВ,
М. Ю. ЗУБРЕВА,
Г. В. КОРОТКЕВИЧ,
Г. М. ЛЬВОВСКИЙ,
В. В. МАЙКОВ,
Л. Д. МАЙОРОВА,
Н. Д. МОРОЗОВА,
Е. М. ПУШКИНА,
Н. В. УСПЕНСКАЯ

Литературный редактор
Г. И. ПАНКОВА

Художник П. П. ЕФРЕМОВ

Художественные редакторы:
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Заведующая редакцией
О. В. ВОЛОШИНА

Корректоры:

О. Н. БОГАЧЕВА, Т. Д. МИРЛИС

В художественном оформлении
номера принимали участие

Н. Х. БУТЫРИНА,
А. Б. ГАЛИЦКИЙ,
В. А. КУПРИЯНОВ,
Р. Э. МАТКАЗИН,
Е. К. ТЕНЧУРИНА

Ордена Трудового Красного
Знамени издательство «Наука»

Сдано в набор 01.12.88

Подписано в печать 12.01.89

T—00007

Формат 70×100 1/16

Бумага офсетная, № 1

Офсетная печать

Усл. печ. л. 10,32

Усл. кр.-отт. 1445,6 тыс.

Уч.-изд. л. 15,1

Тираж 54 000 экз.

Зак. 3201

Цена 80 коп.

Ордена Трудового
Красного Знамени
Чеховский полиграфический
комбинат ВО «Союзполиграфпром»
Государственного комитета СССР
по делам издательства,
полиграфии и книжной торговли
142300, г. Чехов Московской области

Адрес редакции:
117049, Москва, ГСП-1,
Мароусовский пер., 26
Тел. 238-24-56, 238-26-33

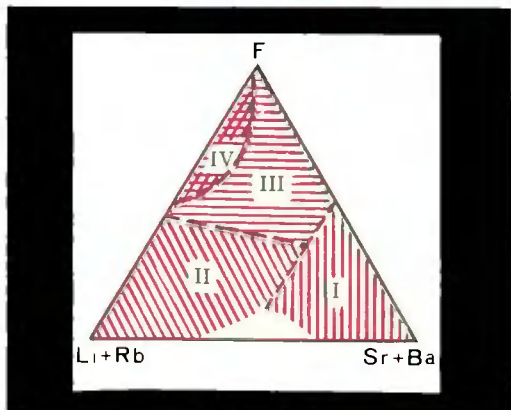


Центральный географический музей — детище В. П. Семенова-Тян-Шанского — просуществовал в Ленинграде около 20 лет и был разогнан в конце 30-х годов из-за «антисоветской концепции» его создателя.

СУДЬБА ГЕОГРАФИЧЕСКОГО МУЗЕЯ

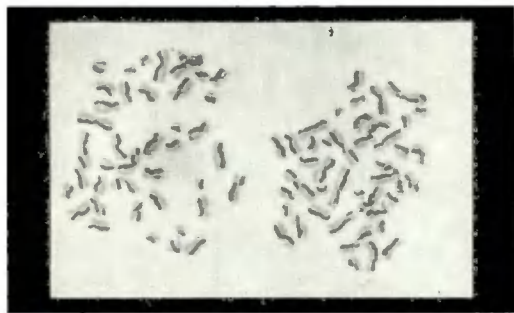
Полян П. М. «ЛЮБИМОЕ ДЕТИЩЕ»
В. П. СЕМЕНОВА-ТЯН-ШАНСКОГО.

Ефремов Ю. К. НУЖНЫ ЛИ ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ МУЗЕИ В III ТЫСЯЧЕЛЕТИИ?



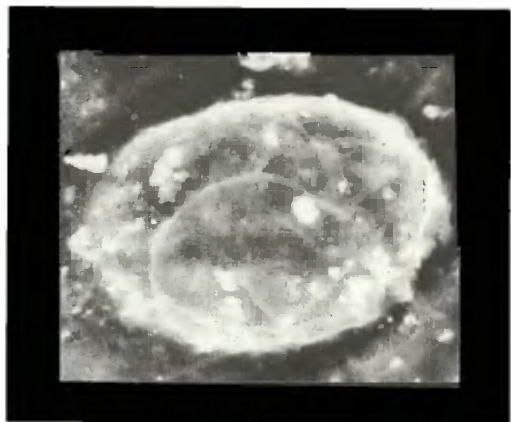
Почему гранитов так много, а количество связанных с ними рудных залежей в общем-то невелико? Почему в одних гранитах концентрируются огромные массы руды, а в других — рудного вещества почти нет? Ответить на эти вопросы удалось благодаря многолетним геохимическим исследованиям.

Таусон Л. В. ГРАНИТЫ И РУДЫ.



В разрушающем процессе, вызванном в организме любым мутагеном, можно выделить несколько этапов. Чтобы приостановить любой из них, нужны антимутагены, новая классификация которых позволит вести их прицельный поиск.

Порощенко Г. Г., Горькова С. Н. ЭКОГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МУТАГЕНЕЗА



Свойства жидких кристаллов присущи и поликристаллам, из которых построено любое скелетное тело живых организмов.

Голубев С. Н. ЖИВЫЕ КРИСТАЛЛЫ

