

ISSN 0032-874X

10 ПРИРОДА

1983



3.5 / 15

Ежемесячный
популярный
естественнонаучный
журнал
Академии наук СССР

Основан в 1912 году



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик
Н. Г. БАСОВ

Заместитель главного редактора
кандидат физико-математических наук
А. И. АНТИПОВ

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТЮШКОВ

Академик
Д. К. БЕЛЯЕВ

Член-корреспондент АН СССР
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук
А. А. ВЕЛИЧКО

Член-корреспондент АН СССР
В. А. ГОВЫРИН

Член-корреспондент АН СССР
И. Р. ГРИГУЛЕВИЧ

Член-корреспондент АН СССР
Г. А. ЗАВАРЗИН

Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА

Академик
Б. М. КЕДРОВ

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

Доктор экономических наук
В. А. МЕДВЕДЕВ

Ответственный секретарь
В. М. ПОЛЫНИН

Доктор исторических наук
П. И. ПУЧКОВ

Заместитель главного редактора
член-корреспондент АН СССР
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

Член-корреспондент АН СССР
В. Е. ХАИН

Член-корреспондент АН СССР
Р. Б. ХЕСИН

Доктор физико-математических наук
А. М. ЧЕРЕПАЩУК

Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ

Академик
В. А. ЭНГЕЛЬГАРТ

На первой странице обложки. Микро-
контакт для исследования фоновых
спектров металлов. См. в номере: Вер-
кин Б. И. Микроконтактная спектроскопия
металлов и сплавов.

Фото Н. Н. Алексеева.

На четвертой странице обложки. Образец
полихромного турмалина (длина 14 см)
из коллекции Минералогического музея
им. А. Е. Ферсмана АН СССР. См. в номе-
ре: Урусов В. С. Почему их только 2000?

Фото М. В. Мезенцева.

В НОМЕРЕ

- Баев А. А., Бочков Н. П.** Ядерная война поставит под сомнение существование человека как биологического вида 3
 Ядерная война — это прежде всего массовое уничтожение людей. Однако ее последствия могут стать катастрофическими не только для выжившего населения земного шара, но и для его потомства.
- Ойзерман Т. И.** Философские предпосылки естествознания Нового времени 11
 В эпоху, когда науки о природе еще боролись за признание, особенно наглядно выступила их органическая связь с определенными философскими предпосылками. Это, прежде всего, натуралистическая интерпретация природы, идея неограниченного могущества человеческого разума, убеждение в решающем значении познания для разумного устройства человеческой жизни.
- Веркин Б. И.** Микроконтактная спектроскопия металлов и сплавов 18
 Знакомый каждому электрический контакт стал в руках ученых надежным инструментом исследования важнейших свойств металлов и сплавов.
- Матюшкин Д. П.** Парадокс Введенского в современной физиологии 28
 Парадоксальное торможение нервных импульсов, открытое Н. Е. Введенским еще в начале века, только сейчас получило свое объяснение.
- Орлов А. Н., Трушин Ю. В.** Моделирование на ЭВМ радиационных дефектов и процессов в кристаллах 34
 Как возникают и развиваются различные дефекты кристаллической решетки под действием нейтронов и других продуктов ядерных реакций? Ответить на этот важнейший вопрос радиационного материаловедения помогает моделирование на ЭВМ взаимодействия ядерных частиц с веществом.
- Капанадзе И. С., Керкадзе И. Г.** Полиплоидный чай 44
 Полиплоидные формы чая могут стать основой для получения новых высокоурожайных сортов.
- Малиновский А. А.** Системная логика дарвинизма 46
 Принцип естественного отбора, открытый Дарвином благодаря системному подходу, был широко воспринят в различных областях знаний.
- Токарев С. А.** О жертвоприношениях 55
 Ритуалы жертвоприношений, сохраняя генетическую связь с древними обрядами, в нашу эпоху постепенно лишаются религиозного содержания, приобретают светский характер.
- Боркин Л. Я., Мунхбаяр Х., Семенов Д. В.** Амфибии и рептилии Заалтайской Гоби 68
 Работы Совместной советско-монгольской комплексной биологической экспедиции дали возможность познакомиться с уникальным миром амфибий и рептилий Заалтайской Гоби.

Ферсман А. Е. За цветными камнями

77

В отрывке из статьи, опубликованной в «Природе» в 1912 г., речь идет о геологических процессах, которые привели к образованию уральских самоцветов.

Урусов В. С. Почему их только две тысячи?

82

О причинах ограниченности числа минеральных видов Ферсман размышлял 50 лет назад. Теперь этот вопрос точно решается с позиций кристаллохимии.

Здорик Т. Б. Памяти А. Е. Ферсмана посвящается

89

О юбилейной выставке петрографической секции Московского общества испытателей природы.

Грицаенко Г. С. Мои встречи с А. Е. Ферсманом

93

В воспоминаниях автора встает тот Ферсман, которого знали и любили его младшие современники.

Яншин А. Л. На службе обороны

98

В годы Великой Отечественной войны Ферсман проявил себя пламенным патриотом и блестящим организатором.

НОВОСТИ НАУКИ

10, 100

Ядерные испытания и их реальные последствия [10] • Запуски космических аппаратов в СССР (май — июнь 1983 г.) [100] • «Союз Т-9» [100] • Спутник «ЭКЗОСАТ» [101] • Исследования полярных сияний [102] • Получили имена 8 марсианских кратеров [102] • Рифтовые зоны на Венере [102] • Мощные аннигиляционные вспышки на поверхности нейтронных звезд [103] • Метеорит с Луны? [104] • Наблюдение распадов «прелестных» мезонов [105] • Еще раз о лазерной дрели [105] • Пористые катализаторы [106] • Метастабильные сверхпроводящие фазы [106] • Выращивание больших кристаллов для лазеров [107] • Система искусственного интеллекта «РАСТР-2» [107] • Три парадокса в механике, вызываемые вибрацией [108] • Регулирование активности генов и лечение наследственных заболеваний [108] • Метаболизм ядов в эпителии носа [109] • Ризоторфин с молочной сывороткой [109] • Большой клюв — малая агрессивность [110] • Успех проекта «Тигр» [110] • Геологические исследования в Тихом океане [110] • 85-й рейс «Гломара Челленджера» [112] • Новый метод в морской картографии [113] • Число землетрясений возросло [114] • Баланс химических соединений в Балтике [114] • Климатическая аномалия в Тихом океане [115] • Последствия Эль-Ниньо [116] • Снежный покров в Северном полушарии [117] • Надежность палеоклиматических реконструкций [117]

РЕЦЕНЗИИ

119

Голованов Л. В. Этнографический взгляд на жизнь великой страны (на кн.: Снесарев А. Е. Этнографическая Индия) [119]

Гиляров А. М. О зверях, заповеднике и работе зоолога (на кн.: Семанов-Тян-Шанский О. И. Звери Мурманской области) [121]

НОВЫЕ КНИГИ

122

Освоение космического пространства в СССР. 1981 [122] • Четвериков С. С. Проблемы общей биологии и генетики (воспоминания, статьи, лекции) [123] • Брэдбери У. Птицы морей, побережий и рек [123] • Новые Хибинские апатитовые месторождения [123] • Прох Л. Э. Словарь ветров [124] • Гарден Жан-Клод. Теоретическая археология [124] • Александр Александрович Любищев. 1890—1972. [124] • Из истории средневековой восточной математики и астрономии [124] • Л. А. Орбели в воспоминаниях современников. К 100-летию со дня рождения [125] • Древности степной Скифии. Сборник научных трудов [125] • Давид Львович Арманд. Библиография печатных трудов 1920—1980 гг. [125]

В КОНЦЕ НОМЕРА

126

Митрофанов А. В. О задачах П. Л. Капицы

Ядерная война поставит под сомнение существование человека как биологического вида

А. А. Баев, Н. П. Бочков



Александр Александрович Баев, академик, академик-секретарь Отделения биохимии, биофизики и химии физиологически активных соединений АН СССР. Руководит лабораторией функциональной энзимологии Института молекулярной биологии АН СССР и отделом молекулярной биологии и молекулярной генетики Института биохимии и физиологии микроорганизмов АН СССР. Основные исследования посвящены вопросам клеточного дыхания, обмена аммиаком, биохимии нуклеотидов и структуры нуклеиновых кислот; в последнее время занимается вопросами генной инженерии. Лауреат Государственной премии СССР (1969). Член Комитета советских ученых в защиту мира против ядерной войны.



Николай Павлович Бочков, академик Академии медицинских наук СССР, главный ученый секретарь Президиума АМН СССР, директор Института медицинской генетики АМН СССР. Основные научные интересы связаны с проблемами мутагенеза у человека и медико-генетического консультирования. Член Комитета советских ученых в защиту мира против ядерной войны.

Человечеству в первый и, может быть, в последний раз предоставлена возможность выбора своей судьбы: идти ли ему по пути, ведущему к глобальной ядерной катастрофе и самоуничтожению, или внять голосу разума и навсегда отказаться от попыток решать политические и идеологические конфликты средствами ядерной войны.

Пока этот выбор не сделан. Однако политические события в мире приняли такой оборот, что человечество уже сейчас живет в обстановке надвигающейся ядерной катастрофы, под давлением все более грозных военных приготовлений, в атмосфере неуверенности и страха.

Уже 38 лет прошло со времени ядерной бомбардировки Хиросимы и Нагасаки, но обстоятельства оживляют в нашей памя-

ти воспоминания о трагической судьбе этих двух японских городов. Совсем недавно Комитет по обработке материалов, касающихся последствий атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки, выпустил обширный отчет, суммирующий все, что известно об этих событиях. Эта публикация помогает реалистическому восприятию тех многочисленных сценариев ядерной войны, которые появились в последние годы.

В настоящее время делаются попытки научно обоснованно ответить на важнейший вопрос: сохранится ли человеческий род и цивилизация на Земле после ядерного конфликта? В связи с этим анализируются различные сценарии ядерной войны, пост-

роенные на основе некоторых произвольно взятых исходных данных и расчетов.

Сценарии таких войн учитывают три рода целей, равнозначимых в стратегическом отношении: города, т. е. население, промышленные и военные объекты. Однако ядерная война — это прежде всего массовое уничтожение людей. Предметом нашего рассмотрения будет человек как биологический вид *Homo sapiens*. Мы попытаемся оценить отдаленные последствия ядерной войны — биологические и медицинские.

Нужно подчеркнуть, что ядерная война не эпизод, а цепь событий, начинающихся со взрыва ядерных устройств, происходящих, согласно сценариям, в течение короткого времени — часов или в крайнем случае дней. Временные границы отдельных стадий, следующих за ядерной атакой, расплывчаты и условны. Это относится и к периоду, в котором начнут проявляться так называемые отдаленные последствия катастрофы, — он начинается в неопределенный момент и простирается на срок от 20 до 100 лет.

НЕПОСРЕДСТВЕННЫЕ ЛЮДСКИЕ ПОТЕРИ. КАКИМИ ОНИ БУДУТ?

Для выживания человечества существенное значение будут иметь, в первую очередь, те людские потери, которые произойдут при обмене ядерными ударами огромной мощности. Количественная сторона этих потерь важна не только для последующего восстановления инфраструктуры, экономики и морального состояния потрясенного общества, если оно вообще возможно, но и для восстановления его биологического статуса.

Опыт изучения животного и растительного мира свидетельствует о том, что у каждой популяции существует некая критическая численность, ниже которой она становится нежизнеспособной. Эта численность зависит от внешних факторов (наличия пищи, подходящих климатических условий, врагов, болезней), но решающим являются свойства вида и присущее популяции генетическое разнообразие.

Для крупных животных (например, копытных) критическая численность — 150—300 особей, для грызунов она может быть значительно меньше. Для человека шансы на выживание гораздо хуже из-за большого генетического груза в виде наследственных болезней, неизбежного возникновения брачных изолятов, увеличивающих число кровнородственных бра-

ков и рецессивных наследственных заболеваний (гаргоизм, пигментная ксеродерма, талассемия и т. д.).

Существующие сценарии ядерной войны позволяют с достаточной достоверностью судить о возможных людских потерях. Так, в случае атомной атаки мощностью 1 Мт на город с населением в 1 млн человек к исходу первого дня погибнет 200—310 тыс. человек и 350—380 тыс. получат повреждения различной тяжести. Без поражений (по крайней мере в первое время) останутся 450—310 тыс. человек¹.

При глобальном ядерном конфликте, в котором будут использованы, например, ядерные устройства общей мощностью 5742 Мт, потери, разумеется, будут значительно выше: в Северном полушарии из 1290 млн населения 750 млн будут убиты, а 340 млн выживших получат увечья и радиационные поражения. (В Южном полушарии потери будут несколько меньше².) Только 200 млн человек избежат повреждений и будут предоставлены собственной, совсем неясной судьбе. Таким образом, непосредственные потери при ядерной войне будут огромны, но эти события не закончатся.

Какова судьба тех, кто уцелеет при ядерной атаке? Лица, получившие травмы и радиационные поражения, практически не будут иметь шансов выжить из-за тяжести повреждений, к тому же нередко комбинированных, дезорганизации медицинской помощи и неспособности живых к напряженной деятельности, без которой немислима ликвидация разрушительных последствий ядерной атаки.

Немногочисленное население, оставшееся в живых без очевидных повреждений, и его потомство станет объектом тех «отдаленных последствий» ядерной войны, о которых пойдет речь далее.

ЭПИДЕМИИ И ХРОНИЧЕСКИЕ БОЛЕЗНИ — НЕИЗБЕЖНЫЕ СПУТНИКИ ЯДЕРНОЙ КАТАСТРОФЫ

Наши представления об отдельных эффектах ядерных взрывов в значительной мере основываются на наблюдениях в Хиросиме и Нагасаки. Однако такая экстраполяция правомерна только частично, точ-

¹ Чазов Е. И., Ильин Л. А., Гуськова А. К. Опасность ядерной войны. Точка зрения советских ученых-медиков. М.: АПН, 1982.

² Barnaby F., Rotblat I., Rodhe H. et al. Reference scenario: how a nuclear war might be fought. — *Ambio*, 1982, v. 11, № 2—3.

нее, имеющиеся данные позволяют судить лишь о качественных характеристиках эффектов и притом лишь ориентировочно. Мощность современного ядерного оружия стала неизмеримо больше, чем у атомных бомб 1945 г. Выжившие после атомной атаки Хиросимы и Нагасаки в среднем были облучены дозой 317 рад (колебания от 0 до 600 рад). По современным расчетам, доза облучения через 25 лет после ядерного конфликта для выживших в Европе в среднем может достичь 100 рад. Более того, если общая мощность взрывов будет около 10 000 Мт, только от выпадений осадков каждый человек в течение 40 лет получит не менее 10 рад.

Средний возраст уцелевших после ядерных бомбардировок составит около 25 лет. Половина из них может иметь детей, т. е. налицо условия для проявления возможных генетических изменений. Продолжительность жизни всех выживших будет достаточной для истечения латентного периода злокачественных новообразований, которые появляются преимущественно через 5—10 лет после облучения.

С экологической и гигиенической точек зрения, отдаленные последствия ядерной войны будут связаны, с одной стороны, с непосредственным воздействием на людей поражающих факторов ядерного оружия и, с другой стороны, с возникновением на территориях, где имели место взрывы, а возможно и на всей планете, глубоких изменений окружающей среды.

В частности, в результате ядерных взрывов и сопутствующих им пожаров в атмосферу поступит огромное количество токсических веществ. По данным Киевского научно-исследовательского института общей и коммунальной гигиены, хроническое воздействие на организм даже таких «обычных» загрязнителей атмосферы, как сернистый и угарный газы, окислы азота, при превышении их предельно допустимых концентраций в атмосферном воздухе более чем в пять раз существенно увеличивает частоту возникновения хронических неспецифических заболеваний легких и бронхиальной астмы³. На основе количественных закономерностей зависимости здоровья населения от характера и степени загрязнения окружающей среды химиче-

скими веществами можно оценить, как измененные условия жизни скажутся на здоровье человека. Расчеты показывают, что увеличение загрязненности атмосферы обычными продуктами сгорания в 10 раз может вызвать катастрофический рост аллергических заболеваний, болезней нервной системы, органов чувств, заболеваний легких. Практически каждый человек станет хроническим больным.

Что касается отдаленных гигиенических последствий таких событий, как разрушение резервуаров-накопителей высокотоксичных сточных вод, то сейчас их оценить трудно. Однако совершенно очевидно, что для полного оздоровления загрязненных почв и водоемов понадобятся десятки лет.

Водоснабжение населения в экстремальных условиях после ядерных взрывов будет осуществляться преимущественно за счет подземных вод. Между тем в результате изменений естественных гидрологических условий токсические вещества после атомных взрывов попадут в водоносные горизонты и долго будут там сохраняться. Как это скажется на растениях, а через их посредство на животных, пока неясно.

Не менее опасны гигиенические последствия, которые возникнут в результате разрушения жилищ, коммунального хозяйства в пострадавших от ядерного удара населенных пунктах. Уцелевшие после ядерных ударов люди останутся без пищи, одежды, жилищ, водоснабжения, транспорта, централизованных источников тепла и света, системы очистки от жидких и твердых отходов и т. д.

Последствия подобного рода, но неизмеримо меньших масштабов, имели место в предыдущих войнах. Известно, например, что блокада Ленинграда самым тяжелым образом отразилась на здоровье жителей этого города, особенно женщин и детей⁵. Так, в 1942 г. заболеваемость среди работающего населения возросла, по сравнению с 1940 г., на 25%, а средняя продолжительность болезни, которая является показателем тяжести ее течения, увеличилась более чем в два раза. Нарушение здоровья женщин выразилось в аменорее (от 64 до 95%), до- и послеродовой заболеваемости с высокой смертностью. Дети отставали в физическом развитии, заболеваемость их увеличилась. Почти у всех де-

³ Доза — отношение поглощенной энергии к массе облучаемого вещества. В системе СИ единицей измерения поглощенной дозы является gray (Гр) = 1 Дж/кг; 1 рад = 10^{-2} Гр.

⁴ Шандала М. Г. — Вестник АМН СССР, 1983, № 4, с. 19.

⁵ Медико-санитарные последствия войны и мероприятия по их ликвидации. Труды II конференции (Москва, 17—19 дек. 1946 г.). М., 1948, т. 1, 2.

тей наблюдалась алиментарная дистрофия, нарушение обмена веществ, тяжелые функциональные расстройства нервной и сердечно-сосудистой систем, желудочно-кишечного тракта, почек. Надо еще принять во внимание, что статистика заболеваемости того времени далеко не полностью отражает истинное положение дел.

Эпидемии тифа, дизентерии, холеры, чумы всегда были спутниками войн. Разрушения населенных мест и средств жизнеобеспечения, отсутствие санитарно-гигиенических служб, резкое ослабление защитных сил организма у облученных людей и многие другие следствия ядерных взрывов приведут к росту тяжелых инфекционных заболеваний, в том числе особо опасных. Условия для возникновения и поддержания эпидемических вспышек будут долго сохраняться после ядерной войны. В настоящее время трудно количественно оценить эпидемические последствия ядерной войны, потому что в истории человечества не было подобных тотальных катастроф. Не вызывает, однако, сомнения ни их неизбежное возникновение, ни их грандиозный масштаб.

ИОНИЗИРУЮЩАЯ РАДИАЦИЯ ИНДУЦИРУЕТ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫЕ ОПУХОЛИ

Возникновение злокачественных опухолей под влиянием облучения было зарегистрировано уже в 1902 г., вскоре после открытия рентгеновских лучей. К настоящему времени количественные закономерности радиационного канцерогенеза хорошо изучены в эксперименте. В опытах на животных установлены частоты возникновения лейкозов и злокачественных опухолей в зависимости от дозы γ -облучения и нейтронов. Многолетние наблюдения за населением Хиросимы и Нагасаки показали, что экспериментальные данные, в принципе, экстраполируемы на человека. Между радиационным воздействием и возникновением злокачественных новообразований существует так называемый латентный период, величина которого зависит от формы заболевания.

После облучения раньше других форм рака возникает лейкемия. Так, в Хиросиме и Нагасаки среди перенесших облучение детей уже в 1950 г. наблюдалось повышение частоты лейкозов, у взрослых этот процесс начался несколько позже. Пик заболеваний наблюдался в 1951—1952 гг., а снижение частоты лейкозов до исходного (спонтанного) уровня отмечено только пос-

ле 1978 г., т. е. более чем через 30 лет после бомбардировки. За весь период наблюдения в группе облученных обнаружено в 3—4 раза больше больших лейкозов, нежели можно ожидать у необлученного населения (в Хиросиме на 1 млн населения соответственно 64,0 и 14,2 случаев и в Нагасаки — 20,0 и 7,1).

В особенности высока заболеваемость лейкемией у тех, кто получил облучение в дозе более 100 рад. Так, в период с 1965 по 1971 г. заболеваемость лейкемией среди жителей Хиросимы и Нагасаки, получивших более 100 рад, была в 7 раз выше, чем в среднем по Японии (соответственно 23,35 и 3,3 случаев на 100 тыс. населения).

Из экспериментальных данных, подтвержденных наблюдениями в Хиросиме и Нагасаки, хорошо известно, что частота возникновения лейкозов существенно зависит от дозы облучения. Поскольку средняя доза облучения для выживших после глобальной ядерной войны не менее чем в 6 раз превысит дозу, полученную жителями японских городов, подвергшихся атомной бомбардировке, ожидаемая частота появления индуцированных лейкозов будет во много раз выше и составит 8—11 тыс. на 1 млн населения.

Индукция злокачественных опухолей под влиянием облучения не исчерпывается лейкозами. Длительное нарушение деятельности желез внутренней секреции, существенное угнетение клеточного и гуморального иммунитета, психические стрессы и другие факторы вместе с последствиями облучения, в том числе от инкорпорированных в организм радионуклидов, будут существенными факторами повышенного риска развития опухолей у лиц, перенесших ядерные взрывы.

Несмотря на то что онкологические последствия ядерных бомбардировок японских городов проанализированы не в полной мере, по некоторым формам рака обнаружено существенное увеличение частоты их появления. Так, в Хиросиме и Нагасаки среди лиц, находившихся на расстоянии 1,5 км от эпицентра взрыва, рак щитовидной железы, легких, молочной железы развивался в несколько раз чаще. Для некоторых форм рака четко показана зависимость от дозы облучения. Например, частота диагностированного при вскрытии рака легких у лиц, получивших дозу в 10 рад, была в два раза выше, чем у лиц, получивших менее 10 рад или живущих в других городах. Рак щитовидной железы у облученных в дозе 50 рад и выше развивался в 9 раз чаще,

чем в контрольной группе, в то время как у облученных в дозе менее 1 рад всего лишь в 3 раза чаще.

В настоящее время получены оценки возможных онкологических последствий ядерных войн с различными сценариями. Однако на них мы останавливаться не будем, а приведем обобщенные расчеты, касающиеся тотального ядерного конфликта. На 1 млн населения будет 150—180 тыс. больных со злокачественными новообразованиями, из которых около 10 тыс. возникнут за счет облучения⁶. Это означает, что на 1 млрд. населения, подвергшегося облучению, появится 10 млн добавочных случаев злокачественных новообразований. В среднем повышение смертности от злокачественных новообразований только за счет новых случаев составит 5—17%.

Согласно расчетам Международного комитета экспертов ВОЗ в области медицинской науки и здравоохранения (1983 г.), среди выживших в ядерной войне можно ожидать около 19 млн добавочных случаев злокачественных новообразований, из которых 12 млн будут относиться к населению США, Западной Европы и СССР.

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КАТАСТРОФА НЕМИНУЕМА ПОСЛЕ ЯДЕРНОЙ ВОЙНЫ

Экологические и генетические последствия ядерной войны можно отнести к числу самых отдаленных последствий, поскольку они не ограничиваются одним поколением. Губительное действие радиации на потомство облученных родителей известно уже более 50 лет — после опытов Г. Меллера (1927 г.), облучившего рентгеновскими лучами дрозофил. Генетическое действие радиации общепризнанно, и в настоящее время известны цитологические и молекулярные основы радиационного повреждения и его репарации.

Само радиационное действие складывается из γ -, β - и нейтронного облучения, т. е. разных типов радиации, первичного облучения при ядерном взрыве и последующего действия локальных, тропосферных и глобальных осадков, а также действия пищевых цепочек. Словом, это не кратковременный эпизод, а цепь событий, захватывающая не одно десятилетие после военных действий. Следует заметить, что глобальная ядерная война — явление беспрецедентное по своим масштабам. По-

этому, пользуясь при оценке тотальной ядерной войны данными по Хиросиме и Нагасаки, едва ли можно получить полную картину грозящего человечеству бедствия — слишком различен масштаб.

Хиросима и Нагасаки были очагами несчастья и разрушения в стране, хоть и потрясенной войной, но еще жизнеспособной и, во всяком случае, готовой помочь своим соотечественникам в беде. При глобальной ядерной войне положение будет обратным: в разрушенной и опасной для существования пустыне будут затеряны жалкие оазисы жизни, обитатели которых, подавленные болезнями, лишениями и страхом, не смогут рассчитывать на действительную помощь извне.

«Память» о ядерных взрывах будет передаваться из поколения в поколение в виде повышенной частоты неблагоприятных исходов беременностей, рождения детей с врожденными пороками развития или наследственными болезнями.

Расчеты зарубежных специалистов показывают⁷, что в случае расширенного ядерного конфликта (более 5000 Мт на континент) популяционная генетически значимая доза составит в среднем для каждого выжившего индивидуума детородного возраста не менее 100 бэр⁸.

Генетический эффект ионизирующих излучений зависит от характера облучения и типа излучений. Острое облучение в 3—5 раз опаснее хронического. Генетическая (или относительная биологическая) эффективность нейтронного облучения в среднем в 5 раз выше γ -облучения, а в некоторых случаях она может превышать ее и в 20 раз. Поэтому особенно серьезных биологических и генетических последствий следует ожидать от нейтронных бомб.

Действие ионизирующей радиации на наследственность живых организмов универсально. Такой вывод основан на многочисленных экспериментальных данных. Различия тут могут носить только количественный характер⁹.

⁷ Gant K. S., Chester C. V.— Health Physics, 1981, № 41, p. 455.

⁸ Для защиты от излучения важно знать не просто поглощенную дозу радиоактивного излучения, а ее воздействие на живую ткань — биологическую (или эквивалентную) дозу. Она определяется путем умножения поглощенной дозы на переводной коэффициент Q, который характеризует биологическую эффективность различных видов радиации. Бэр — единица измерения эквивалентной дозы.

⁹ Бочко в Н. П.— Вестник АМН СССР, 1983, № 4, с. 36.

⁶ Трапезников Н. Н.— Вестник АМН СССР, 1983, № 4, с. 30.

На современном уровне знаний считается, что так называемый пороговый эффект в действии излучений на наследственность отсутствует, иными словами, безвредных с генетической точки зрения доз не может быть — любая доза вызывает пропорциональное ей число мутаций, которые практически всегда оказывают отрицательное действие в столь приспособленном (фило- и онтогенетически) организме, каковым является человеческий организм.

Генетические изменения под влиянием облучения возникают как в зародышевых, так и в соматических клетках. Радиочувствительность зародышевых клеток ниже, чем соматических, однако отсутствие порога в действии радиации наблюдается и в том случае, когда дело касается индукции наиболее отдаленных последствий — генных мутаций в зародышевых клетках.

Особенно ранимы размножающиеся соматические клетки, такие, например, как клетки костного мозга и вообще кроветворных органов (лимфатические узлы, лимфатическая ткань селезенки). У жителей Хиросимы и Нагасаки, подвергшихся облучению в 1945 г., в течение некоторого времени обнаруживались нарушения в деятельности кроветворной системы, которые впоследствии сглаживались. Однако и через 30 лет сохранился стойкий след радиационного повреждения в виде хромосомных перестроек в лимфоцитах. Так, в 1978 г. при обследовании облученных в Хиросиме обнаружены хромосомные перестройки в 2,18—15,18% клеток (в зависимости от дозы), в то время как у контрольной группы они наблюдались лишь в 0,86% клеток. Эти хромосомные повреждения не сопровождались явными нарушениями здоровья. Однако действие ионизирующего излучения на делящиеся клетки имеет прямое отношение к повышенной частоте появления опухолей у облученных. Этим также определяется существование критических групп населения, особенно чувствительных к действию ионизирующей радиации, — детей раннего возраста и беременных женщин.

В потомстве облученных жителей Хиросимы и Нагасаки не было обнаружено выраженных патологических явлений наследственного характера — состояний, вызванных наследуемыми изменениями ДНК половых клеток облученных родителей. При этом были изучены спонтанные аборт, мертворождения, смертность детей до 9 лет, врожденные пороки развития, физическое развитие, цитогенетические аномалии, некоторые белки. Более детальный

статистический анализ полученных данных показал некоторую зависимость врожденных пороков развития и мертворождений от дозы, когда были облучены оба родителя. Это дало возможность рассчитать «среднюю» удваивающую дозу. В зависимости от выбранного метода расчета она составила 81 или 172 бэр.

Отсутствии резко выраженных генетических дефектов в потомстве облученного населения Хиросимы и Нагасаки может быть обусловлено целым рядом факторов.

1. В небольших популяциях нелегко обнаружить генетические эффекты облучения.

2. Мощность ядерных устройств, примененных в Хиросиме и Нагасаки, была невелика, и облученное население не подверглось длительному действию радиоактивных осадков, которое будет иметь место в случае термоядерной войны будущего.

3. Срок наблюдения для человека короток — всего лишь 2 поколения. К тому же число беременностей и рождений у людей вообще невелико.

4. В Хиросиме и Нагасаки выжили люди репродуктивного возраста, главным образом со сравнительно низким уровнем облучения (средняя доза 17 рад). Множество людей получили смертельную дозу облучения (более 700 рад) или погибли от причин, не связанных с генетическими нарушениями.

5. Генетические дефекты могли быть разными путями элиминированы, например абортами, особенно нераспознанными.

6. Методы выявления генетических дефектов пока несовершенны, и нет уверенности, что все такие дефекты у потомков жителей Хиросимы и Нагасаки обнаружены.

7. Человеческие популяции в генетическом отношении крайне гетерогенны, и близкородственные браки нельзя считать распространенными. Поэтому появление рецессивных гомозигот не частое явление вообще, в том числе и среди потомков жителей Хиросимы и Нагасаки.

Таким образом, наблюдения над облученным и выжившим контингентом Хиросимы и Нагасаки не могут ослабить утверждения о действии ионизирующей радиации на геном. Ионизирующая радиация неизбежно вызывает мутации у человека, причем дозы, удваивающие частоту мутаций, по расчетам различных авторов, колеблются от 16 до 250 рад. Научный комитет по действию атомной радиации при ООН называет в качестве удваивающей дозы

100 рад. Дозу облучения, полученную индивидами, обычно пересчитывают на облученную популяцию в целом. С популяционной точки зрения, для оценки повреждающих последствий дозу удобно выражать в виде произведения числа людей, способных иметь детей, на дозу облучения. Так, получают обобщенную популяционную величину — число людей, облученных дозой 1 бэр.

Опираясь на эти данные, можно определить степень появления генетических дефектов в рамках избранного сценария.

Советские авторы считают, что после тотальной ядерной войны (10 000 Мт) суммарная доза радиации (только от глобальных осадков), полученная в течение 20 лет, составит 2,16 бэр на 1 индивида; и при коэффициенте риска $4 \cdot 10^{-3}$ это даст на 4,4 млрд населения планеты 380 000 случаев наследственной патологии. При учете локальных и тропосферных осадков к приведенной величине нужно добавить еще 6 млн случаев.

Можно привести также следующие данные. По сценарию, опубликованному в журнале «Ambio», каждый житель Европы в первые 25 лет после войны получит дозу около 100 рад. Тогда генетические последствия будут описываться таблицей, при составлении которой использовались коэффициенты риска, предложенные Научным комитетом по действию атомной радиации ООН¹⁰.

¹⁰ Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, 1982.

В заключение необходимо подчеркнуть, что можно оценить далеко не все последствия радиационных повреждений наследственности человека. Однако уже из того, что известно, можно сделать определенные выводы. Какие бы аспекты генетического действия возможного применения ядерного оружия ни рассматривались, везде речь идет об очень серьезных последствиях не только для пострадавшего поколения, но и для многих будущих поколений. К этому надо добавить еще и генетические последствия от изменений, которые неизбежно произойдут в окружающей среде в связи с ядерными бомбардировками.

Человек должен будет приспосабливаться к новым видам микроорганизмов, измененным растениям и животным. Сложившееся тысячелетиями равновесие нарушится, и наследственность по-иному будет проявляться в новой среде. Это может привести к неадекватным реакциям на факторы внешней среды и может стать источником новых форм болезней, новых бед.

Применение ядерного оружия приведет к резкому уменьшению численности населения, возникнут предпосылки для брачных изолятов. Неизбежно последует увеличение кровнородственных браков. Все это может привести к генетической катастрофе, которая не произошла в Хиросиме и Нагасаки, но неминуема после тотальной ядерной войны.

Мы рассмотрели в довольно общей форме только основные группы отдаленных

Таблица
Возможные генетические последствия облучения дозой в 100 рад (на 1 млн живорожденных)

Категория заболеваний	Естественный фон	Повышение частоты заболеваний	
		в 1-ом поколении	в следующих поколениях
Доминантные	10 000	2 000	10 000
Рецессивные	1 100	слегка	очень небольшое повышение
Хромосомные	4 000	3 800	4 000
Врожденные аномалии, аномалии, проявляющиеся в позднем периоде, конституциональные и дегенеративные болезни	90 000	500	4 500
Всего	105 100	6 300	18 500
Процент от общей частоты		6%	17%

биологических и медицинских последствий ядерных взрывов (экологические, онкологические, генетические). Приведенные цифры, вероятно, являются лишь нижней границей возможных эффектов. В действительности последствия будут тяжелее. Пока еще даже приблизительной оценке не поддаются такие пострадиационные последствия, как катаракты, ускоренное старение, иммунологическая недостаточность, тератогенез, психические болезни.

Однако очевидно, что какие бы отдаленные последствия мы ни рассматривали, они создадут тяжелейшие условия для людей, выживших после ядерной катастрофы, и поставят под сомнение существование человека как биологического вида.

Рассчитывать на какое-то обновление человеческого рода, на новый виток эволю-

ции было бы наивным. Человек вступит в послеядерную эру практически с теми же биологическими качествами, которые существовали и до нее, но они будут отягощены наследственными дефектами, соматическими и психическими болезнями. К этому же внешняя среда, к которой он вынужден будет приспосабливаться, окажется в большей степени неблагоприятной, чем в любую известную нам доисторическую эпоху.

Уже сейчас человечество сталкивается с такими глобальными проблемами, как нехватка продовольствия, воды, чистого воздуха и т. д. Для их решения потребуются мобилизация всех его способностей. Трудности, созданные тотальной ядерной войной, вероятно, будут непреодолимы.

НОВОСТИ НАУКИ



Экология

Ядерные испытания и их реальные последствия

Спустя 30 лет после испытаний атомных бомб на полигонах штата Невада (США) Г. Кнапп (Н. Кпарр, национальный эксперт по действию ядерного оружия, в прошлом сотрудник Министерства обороны США) привел данные о реальных уровнях облучения населения и сельскохозяйственных животных в этом районе.

Стало известно, что массовая гибель овец в штатах Невада и Юта в 1956 г., которую власти объясняли (и продолжают на этом настаивать) вирусной эпидемией, ухудшением погоды и плохим питанием животных, в действительности была связана с испытанием ядерного оружия. По данным Кнаппа, в результате

употребления в пищу травы и воды, загрязненных радиоактивными выпадениями, общая доза, приходящаяся на желудочно-кишечный тракт животных, могла достигать 1500—6000 рад, а на щитовидную железу — 20 000—40 000 рад, что и привело к их гибели.

По официальным данным Комиссии по атомной энергии США, уровень облучения населения в результате выпадения радиоактивных осадков в период проведения ядерных испытаний не превышал допустимой для работников атомной промышленности нормы — 5 рад. Материалы, представленные Кнаппом, полностью опровергают выводы этой комиссии. В период работы в Министерстве обороны США он производил ежегодные оценки уровня выпадения радиоактивных осадков и располагает данными о том, что в результате употребления в 1953—1958 гг. загрязненного радиоактивными примесями молока у

детей штатов Невада и Юта поглощенные щитовидной железой дозы в 96—840 раз превышали дозу внешнего γ -излучения, составляющую в этих штатах 1—5 рад. В Сент-Джордже, например, после атомного взрыва в 1953 г. доза, поглощенная щитовидной железой детей, составляла от 120 до 440 рад.

В отчете Комиссии по атомной энергии не было указано, что измерения уровня радиоактивного загрязнения проводились лишь спустя 25—26 дней после взрыва, т. е. от населения пытались скрыть реальные дозы облучения, полученные в период до их регистрации. По расчетам Кнаппа, полная реальная доза внешнего γ -излучения после проведения испытаний, с учетом характеристик распада, составила не 4 рад, как показано в отчете, а от 38 до 169 рад.

Философские предпосылки естествознания Нового времени

Т. И. Ойзерман



Теодор Ильич Ойзерман, академик, заведующий сектором истории философии Западной Европы и Америки Института философии АН СССР. Занимается проблемами истории домарксистской, марксистской и современной буржуазной философии, а также общей теорией историко-философского процесса. Основные монографии: Главные философские направления. М., 1971; Формирование философии марксизма. Изд. 2-е. М., 1974; Диалектический материализм и история философии. М., 1974; Проблемы историко-философской науки. Изд. 2-е. М., 1981. Действительный член Международного института философии, иностранный член АН ГДР.

Родоначальник древнегреческой философии Фалес полагал, что боги ... возникли из воды. Его ученик Анаксимен, оспаривая это убеждение, утверждал, что первовеществом, из которого образовались боги, является воздух. В этих положениях наивной, стихийно материалистической натурфилософии заключаются исходные мировоззренческие посылки естествознания, которое признает лишь естественные, природные причины всего существующего и тем самым отвергает сверхъестественное, во всяком случае в качестве предмета науки о природе.

Разумеется, Античность, так же как и эпоха Средневековья, знала естественнонаучные исследования и более конкретного, специального характера. Но лишь естествознание Нового времени, в противоположность гениальным догадкам и спорадическим открытиям предшествующих столетий, представляет собой, как писал Ф. Энгельс, науку в подлинном смысле слова, т. е. систематическое, развивающееся, независимое от теологических посылок, доступное эффективной проверке исследование явлений природы¹.

Великое открытие Николая Коперника было декларацией независимости осознающего свои права естествознания. «Отсюда,— писал Энгельс,— начинается свое летоисчисление освобождение естествознания от теологии, хотя выяснение между ними отдельных взаимных претензий затянулось до наших дней...»²

Система Коперника не случайно стала называться гелиоцентрическим мировоззрением. Она дала отставку теологическому мировоззрению, представления которого о Вселенной казались доказанными геоцентрической системой Птолемея. Дж. Бруно, ближайший последователь Коперника и страстный пропагандист его учения, провозгласил в качестве важнейшего вывода из него тезис о существовании

ком Вселенную, ее возникновение и нынешнее состояние, наука стала пытаться найти отдельные истины малого масштаба, касающиеся некоторых поддающихся определению и должным образом выделенных групп явлений» (Вайскопф В. Физика в двадцатом столетии. М., 1977, с. 256). Характеризуя далее научный прогресс, Вайскопф подчеркивает, что ученые, вместо того чтобы ставить общие вопросы и получать частные ответы, задавали частные вопросы и находили общие ответы. «Остается великим чудом то, что этот процесс продолжал развиваться: вопросы, на которые мог быть получен ответ, постепенно становились все более универсальными» (там же).

² Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 20, с. 347.

¹ В. Вайскопф, ссылаясь на эту эпоху, замечает: «Это было начало науки в той форме, в какой мы знаем ее сегодня. Вместо того чтобы установить сразу всю истину и объяснять цели-

бесконечного множества миров, аналогичных нашей Солнечной системе. Современный реакционный философ евангелического толка Г. Шомерус уверяет, что именно со времени Коперника начинается трагический упадок человеческого духа. Прежде всего, говорит он, «была разрушена обитель мира, в котором человек до этого чувствовал себя укрытым». Мир, дескать, стал беззащитным, «открытым во все стороны, также и в ту сторону, где больше всего ощущается потребность иметь твердую почву под ногами». Вечный, казалось абсолютно утвержденный в мире порядок оказался опрокинутым и, как утверждает Шомерус, «возникло бесконечное мировое пространство, а вместе с ним и нечто такое, что является хаосом»³. Убеждения Шомеруса вполне воспроизводят умонастроения клерикалов эпохи Коперника. Но передовые мыслители этого времени совсем по-иному воспринимали это открытие. Они увидели в нем убедительное отрицание теологического противопоставления якобы низменной земной материи божественной небесной тверди. Отрицание дуализма небесного и земного возвышало земное. Земля возводилась тем самым в ранг звезды. *Terra est stella nobilis* (земля есть благородная звезда), — провозглашал выдающийся мыслитель эпохи Возрождения Николай Кузанский.

Р. Декарт, в творчестве которого философия, математика, физика образуют нераздельное целое, писал, что «материя неба не разнится от материи Земли», ввиду чего «во всяком мире существует только одна материя»⁴. Этот вывод Декарт, обычно смягчавший свои новаторские убеждения всякого рода оговорками, непосредственно связывает с системой Коперника, признавая ее основой своего философского учения, согласно которому материя и пространство, протяженность тождественны. Декарт, таким образом, утверждал, что философия, поскольку она порывает со схоластическим любомудрием, неотделима от естествознания.

Гипотеза Коперника, разграничивая видимое и действительное движение небесных тел, опровергая видимость, которую отражала геоцентрическая система, указывала тем самым на необходимость критического анализа «самоочевид-

ных» данных наблюдения, необходимость теоретических обобщений, преодолевающих неизбежную ограниченность повседневного опыта. Коперник, противопоставивший чувственно воспринимаемым явлениям их умопостигаемую сущность, высказывал, таким образом, некоторые исходные положения рационалистической философии, органически связанной с выдающимися достижениями математики и механики XVII в.

Эпоха ранних буржуазных революций, в рамках которой складывается естествознание Нового времени, является также эпохой дифференциации научного знания, возникновения новых научных дисциплин и соответствующих им методов специального научного исследования, следствием чего становится размежевание между философскими и нефилософскими исследованиями. Это следует понимать не как отказ естествоиспытателей от мировоззренческих и, в частности, философских убеждений, а как изменение места философии в системе научных знаний. Если в средневековой иерархии знания высшую ступень занимала теология, низшую — наука, а посредине ставилась философия, то в Новое время передовые философские учения, отмежевываясь от теологии, видят идеал подлинного знания в науке, прежде всего в математике и механике, но также и в эмпирическом природоведении. Следовательно, это размежевание — плодотворный и исторически прогрессивный процесс, благодаря которому все более четко определяются предмет и задачи философии — отнюдь не является конфронтацией между философией и обособившимися фундаментальными науками. Такая конфронтация возникла впоследствии на почве идеалистического философствования, все более осознававшего свою враждебность материалистическому духу естествознания. Но в эту эпоху, когда науки о природе еще борются за признание, особенно наглядно выступает их органическая связь с определенными философскими посылками: натуралистической интерпретацией природы, исключаящей всякие ссылки на сверхъестественное, идеей неограниченного могущества человеческого разума, убеждением в решающем значении познания для разумного переустройства человеческой жизни, требованием редукции абстрактных понятий к их чувственному, опытному источнику. Правильно отмечает современный французский исследователь истории науки А. Койре: «Философские концепции Ньютона, относящиеся

³ Schomerus H. Geistige Strömungen der Gegenwart. Gutersloh, 1966, S. 12.

⁴ Декарт Р. Избр. произв. М., 1950, с. 476.

к вопросу о роли математики и точного измерения в структуре научного знания, были так же важны для успеха его исследований, как и его математический гений⁵.

Основной труд И. Ньютона, как известно, назывался «Математические начала натуральной философии». Натуральной философией Ньютон, так же как и его великий предшественник Ф. Бэкон, называет естествознание, и это не следует рассматривать как дань традиции, согласно которой изучение наук о природе имело место лишь в рамках средневековых философских факультетов. Само понятие натуральной философии, или философии природы, означало тогда принципиально новую антитеологическую мировоззренческую ориентацию, несмотря на все уступки теологии, которые столь характерны как для естествоиспытателей, так и для великих философов этой эпохи.

«Философия ботаники» — так называется труд К. Линнея, обосновывавший его знаменитую классификацию растений. В этом исследовании Линней, несмотря на уступки креационизму, высказывает эволюционные идеи с целью научного объяснения единства различных видов. Ж.-Ж. Руссо писал об этой книге Линнея, что она наиболее философская из всех, какие ему известны⁶. Подобным образом следует рассматривать и сочинение Р. Бойля «Опыты использования химических экспериментов в качестве иллюстрации понятий корпускулярной философии». Корпускулярная теория, атомистика, которой придерживались и Ньютон, и Бойль, разрабатывалась материалистами XVII—XVIII вв., обосновывавшими вечность, т. е. несотворимость и неуничтожимость материи.

Даже в начале XIX в. Ж. Ламарк назвал свою эволюционную теорию «философией зоологии», указав тем самым на прямое отношение философских обобщений к конкретным естественнонаучным исследованиям. Это же, по-видимому, имел в виду Д. Дальтон, назвавший свой основополагающий труд, в котором теоретически разработан понятие химического элемента, «Новой системой химической философии».

Таким образом, становление естествознания Нового времени генетически связано с формированием новой системы философских убеждений, исходные положе-

ния которой возникают в самом естествознании. Остановимся несколько подробнее на характеристике этой мировоззренческой системы, развитие которой в значительной степени способствовало великим достижениям естествознания.

Основоположники философии Нового времени, идеологи ранних буржуазных революций являются критическими оптимистами. Ф. Бэкон, провозглашая конечной целью «натуральной философии» изобретения (в самом широком смысле этого слова), подчеркивает, что решающая роль принадлежит все же теоретическому исследованию. Овладение законами природы предполагает прежде всего их действительное познание, так же как и сознательное подчинение этим законам. «Человек, слуга и истолкователь природы, столько совершает и понимает, сколько постиг в ее порядке делом или размышлением, и выше этого он не знает и не может»⁷.

Декарт, считаящий основой всякого знания философию, видит высшую цель познавательных усилий человечества в его практических достижениях. Формулируя этот идеал, Декарт, как это ни удивительно на первый взгляд, ссылается на труд ремесленников, которые в рамках своей специализированной деятельности целесообразно преобразуют материал природы, т. е. подчиняют его человеческим целям. Этим же целям призвана служить и философия. И Декарт утверждает, что «вместо умозрительной философии, преподаваемой в школах, можно создать практическую, с помощью которой, зная силу и действие огня, воды, воздуха, звезд, небес и всех прочих окружающих нас тел, так же отчетливо, как мы знаем различные ремесла наших мастеров, мы могли бы наравне с последними использовать и эти силы во всех свойственных им применениях и стать, таким образом, как бы господами и владельцами природы»⁸.

Чтобы правильно понять установку на «практическую философию», следует указать на ее принципиальное отличие от пресловутого схоластического «практицизма». Схоласты, несмотря на свои весьма умозрительные, нередко утонченнейшие в логическом отношении рассуждения, упорно настаивали на том, что познание как стремление открыть новые, неведомые человечеству истины не только сует-

⁵ Koyré A. *Études d'histoire de la pensée scientifique*. P., 1966, p. 3.

⁶ См.: Станко в С. Линней, Руссо, Ламарк. М., 1955, с. 20.

⁷ Бэкон Ф. Соч., т. I. М., 1972, с. 12.

⁸ Декарт Р. *Рассуждение о методе*. М., 1953, с. 54.

но, но и несовместимо с благочестием. Само по себе познание вообще не есть добро. Оно оправдано лишь стремлением к цели, находящейся вне сферы знания: защита, укрепление, обоснование религиозной веры. Философы-новаторы XVII в. своим новым пониманием философии и познания вообще опрокинули схоластический императив: философия — служанка теологии.

Философия, отстаивающая права «естественного разума», не прибегающего к помощи священного писания, есть прежде всего отрицание авторитета веры по меньшей мере в рамках наук о природе. Способ, каким Декарт противопоставляет «естественный свет» разума священному писанию, по-видимому, рассчитан на теологов, которых он не столько убеждает, сколько обезоруживает. Откровение, замечает он явно не без иронии, «разом подымает нас до безошибочной веры», и поэтому оно, увы, непригодно для изучения отнюдь не сверхъестественных вещей. Не следует вообще рассчитывать на достижение истины «одним прыжком». В том, что не дано нам откровением, следует полагаться лишь на собственные силы и прежде всего на правильный метод исследования, который хоть и не сразу, на зато наверняка приводит в конечном счете к подлинному знанию.

Б. Спиноза, в отличие от Декарта, не терпит оговорок. Он утверждает, что «вера теперь стала не чем иным, как легковерием и предрассудками»⁹. Философия, заявляет он в другом месте, «должна быть отделена от теологии»¹⁰. Поясняя эту мысль, философ порывает с компромиссным учением о двойственной истине, согласно которому теология и наука могут иметь различные, но равно истинные представления об одних и тех же предметах. Отвергая все попытки согласования знания и веры, Спиноза пишет: «Между верой, или богословием, и философией нет никакой связи или никакого родства... Ведь цель философии есть только истина, вера же, как мы обстоятельно показали, — только повиновение и благочестие»¹¹.

Существует, как утверждают философы-новаторы, естественный порядок вещей, который не может быть нарушен никаким вмешательством свыше. Все изменения происходят естественным образом,

т. е. проистекают из внешней природы или же природы самого человека. Природу не судят, а изучают — таков девиз натурализма, не только философского, но и естественнонаучного. Ведь естествознание, как свидетельствует само это слово (ср. французское: sciences naturelles), исходит из недвусмысленной мировоззренческой установки: объясняй природу из нее самой, избегая во всех случаях обращения к пресловутому первоначалу. Все природное неустранимо, хорошо оно или плохо. Его следует принимать не просто как наличное, но также как должное, ибо иное попросту невозможно.

Естествознание, так сказать, по определению элиминирует религиозное истолкование природы, оставляя открытым вопрос о бытии божием, несмотря на то что естествоиспытатели Нового времени в большинстве остаются религиозными людьми и за пределами своей специальной области охотно занимаются теологическими изысканиями, что нередко налагает определенную печать и на их собственно естественнонаучные воззрения. Сверхприродное, как правило, не отрицается, но перемещается на периферию умственных интересов людей, занимающихся философией и естествознанием, людей, которые отныне предаются исследованию реального, а не спекуляциям о сверхъестественном. Показательно, например, что Т. Гоббс, пожалуй, наиболее последовательный из материалистов XVII в., вполне определенно утверждая, что философия, как и наука вообще, несовместима с теологией, отнюдь не считает, что теология не имеет права на существование. Он просто исключает теологию из сферы научного знания, поскольку она, в отличие от науки, занимается сверхприродным. Гоббс же, и это отличает его от других философов-новаторов этой эпохи, провозглашает единственной реальностью пространственно ограниченные вещи, тела, отрицая тем самым существование бестелесного, невещественного, во всяком случае в сфере философского (и естественнонаучного) исследования. Мир, или Вселенная, представляет собой «массу всего существующего». Мир «телесен, иначе говоря, является телом и имеет измерения величины, называемые длиной, шириной и глубиной. Всякая часть тела является точно так же телом и имеет те же измерения, и, следовательно, телом является всякая часть вселенной, а то, что не есть тело, не является частью вселенной. Вселенная есть все, поэтому то, что не является ее частью,

⁹ Спиноза Б. Избр. произв., т. 2. М., 1957, с. 11.

¹⁰ Там же, с. 202.

¹¹ Там же, с. 192.

есть ничто и, следовательно, нигде не существует»¹².

Таким образом, натуралистическое мировоззрение Нового времени инициируется, с одной стороны, материалистической философией, а с другой — естествознанием, независимо от того, осознают ли его представители материалистические посылки своего исследовательского поиска. Неудивительно поэтому, что даже идеалисты воспринимают, правда с существенными ограничениями, натуралистическое мирозерцание.

Идеалист Г. Лейбниц, усматривавший высшую задачу философии в обосновании якобы существующей в мире божественной *harmonia praestabilitata* (предустановленной гармонии), категорическим образом отрицал сверхъестественность сверхъестественного. Признавая личное бессмертие и, значит, независимую от смертного тела нетленную душу, Лейбниц настаивал на том, что «души бессмертны естественным образом» и было бы «чудом, если бы они не были бессмертными»¹³. Бог, согласно Лейбницу, действует соответственно законам созданной им природы, которые не могут быть иными, чем они есть. Сверхъестественное попросту невозможно. Поэтому Лейбниц осуждает любые попытки изучения природы с помощью представлений, не почерпнутых из опыта или «естественного разума». Такие попытки, неизбежно обреченные на провал, — недостаточное занятие, дискредитирующее не только науку, но и теологию, истинность догматов которой Лейбниц не подвергает сомнению, поскольку наука обсуждает лишь те вопросы, которые относятся к ее компетенции. «В догматах веры, — замечает он, — могут заключаться непостижимые для нас тайны, но я не желал бы, чтобы в обычном ходе вещей прибегали к чудесам и допускали абсолютно непонятные силы и воздействия»¹⁴.

Классической моделью естественнонаучного исследования этой эпохи является, конечно, механика. В сознании подавляющей части естествоиспытателей понятие механического ассоциировалось с материалистической философией. И действительно, материализм сыграл громадную роль в обосновании всеобщего методологического значения принципов меха-

ники. Борьба между материализмом и идеализмом в XVII в. сплошь и рядом выступает как антитеза между последовательно проводимым механицизмом и идеалистическими попытками ограничить механицизм, дополнить его теологией, органицизмом, индетерминистской концепцией свободы воли и т. д.

В наше время ограниченность механицизма очевидна как с философской, так и с естественнонаучной точки зрения. Но если жизнь не сводится к механическим процессам, то это не означает, что механические процессы, совершающиеся в организме человека, несущественны. Приведем лишь один пример. Гоббс пишет: «Что такое сердце, как не пружина? Что такое нервы, как не такие же нити, а суставы, как не такие же колеса, сообщающие движение всему телу так, как этого хотел мастер?»¹⁵ Современная наука не приемлет такого упрощенного, основанного на аналогиях описания органов живого тела. Но она все же указывает, что сердце представляет собой также и насос. И необходимой частью аппарата, применяемого в качестве искусственного сердца во время хирургических операций, является особого рода насос.

Механическое объяснение явлений природы представляет собой не только исторически, но и логически, первую программу научного исследования. Механическое движение всеобщее, и именно поэтому оно существенным, хотя и далеко не исчерпывающим образом, характеризует и все другие, немеханические формы движения материи. В механицизме поэтому следует различать его исторически ограниченное содержание и те общие естественнонаучные посылки, которые составляют непреходящее завоевание науки. Многообразие природных, в том числе и собственно физических процессов, конечно, не может быть объяснено принципами одной лишь механики. Но это не умаляет ни общего значения этих принципов, ни значения редукции сложного к простому, разумеется, там, где эта редукция уместна. Следовательно, механистическое мировоззрение заключало в себе элементы общенаучного исследовательского подхода, сохраняющего известное методологическое значение и для нашего времени.

Было бы заблуждением видеть ограниченность механицизма в том, что принципы механики экстраполируются на про-

¹² Г о б б с Т. Избр. произв., т. 2. М., 1965, с. 640.

¹³ Л е й б н и ц Г. Новые опыты о человеческом разуме. М. — Л., 1936, с. 63.

¹⁴ Там же, с. 57.

¹⁵ Г о б б с Т. Цит. соч., т. 2, с. 47.

цессы, не составляющие предмета этой науки. Такая экстраполяция была несомненно плодотворна. Ведь именно на этом пути У. Гарвей дал научное описание кровообращения, т. е. исследовал механический аспект этого жизненного процесса. Ограниченность, а при известных условиях и несостоятельность механистической методологии заключалась в абсолютизации законов механики, т. е. в их метафизической интерпретации.

Абсолютизация любых положений науки несостоятельна. Даже абсолютную истину не следует абсолютизировать, так как границы ее относительны. Механическое, конечно, вездесуще, но оно не всемогуще. Не существует вообще всемогущих принципов, законов, отношений. Эту истину не могли постичь метафизически мыслявшие философы и естествоиспытатели. Те из них, которые отвергали теологическое мировоззрение, искали всемогущее в самой природе. Но и идеалисты, оспаривавшие положение метафизического материализма о всемогуществе природного, не видели действительной ограниченности механицизма, которому они могли противопоставить лишь чуждое науке представление о сверхприродном. Суть дела, однако, заключалась в том, что механицизм лишь в ту историческую эпоху был единственной научной альтернативой теологической интерпретации природы. Считать механицизм единственно возможной формой отрицания теологии значит абсолютизировать конкретные характеристики этой методологии, что ведет лишь к искажению ее научного содержания и пагубным философским заблуждениям.

Мы коснулись метафизической, т. е. антидиалектической ограниченности философии и естествознания этой эпохи. Это достаточно известный вопрос, обстоятельно излагаемый в учебниках по философии. И все же на нем следует, хотя бы кратко, остановиться. Античные философы признавали существенным лишь то, что тождественно в различных вещах; то же, что отличает их друг от друга, считалось несущественным. Многообразие различного сводилось натурфилософами Античности к четырем «элементам»: воде, воздуху, огню и земле. Это представление об «элементах» наглядно иллюстрирует ограниченность конкретных знаний о явлениях природы в античную эпоху. Естествознание Нового времени, хотя оно далеко не сразу порывает с античным представлением о четырех «элементах», с самого начала исходит из признания существен-

ного многообразия природных явлений. Интерес к этому многообразию, изучение всего, что отличает одни вещи (минералы, металлы, растения, животные и т. д.) от других, становится главным направлением развития эмпирического естествознания.

Качественное изменение самого характера научной любознательности делает возможной классификацию растений, животных, минералов, выделение химических элементов, географические описания, короче говоря, эмпирическое естествознание. Энгельс писал: «Разложение природы на ее отдельные части, разделение различных процессов и предметов природы на определенные классы, исследование внутреннего строения органических тел по их многообразным анатомическим формам — все это было основным условием тех исполинских успехов, которые были достигнуты в области познания природы за последние четыреста лет»¹⁶.

Таким образом, гносеологический императив — отдельное должно быть познано как отдельное — исторически оправдан, неизбежен. Но он дает лишь ограниченное представление об отдельном и не позволяет исследовать всеобщую связь явлений, их изменение, развитие.

В. И. Ленин, характеризуя в «Материализме и эмпириокритицизме» истоки методологического кризиса физики, начавшегося в конце прошлого века в связи с открытием радиоактивности, электрона, выявлением механического подхода в термодинамике, электромагнитной теории и т. д., указывает, что одной из причин этого кризиса был метафизический (антидиалектический) способ мышления. Поэтому обнаружение относительности естественнонаучных представлений о структуре материи истолковывалось как доказательство субъективного характера наших знаний о природе, свидетельство «дематериализации» материи и т. д. Поскольку метафизический материализм не признавал относительности знания, установление этого факта рассматривалось некоторыми естествоиспытателями как выявление несостоятельности материализма вообще. О диалектическом же материализме естествоиспытатели конца XIX в. не имели представления. Ленинский критический анализ «физического» идеализма убедительно показал, что лишь диалектико-материалистическое мировоззрение, созданное Марк-

¹⁶ Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 20, с. 20.

сом и Энгельсом, позволяет найти разумные, допускающие опытную проверку ответы на те вопросы, которые возникли в связи с методологическим кризисом физики.

Со времени выхода в свет ленинского «Материализма и эмпириокритицизма» прошло свыше семидесяти лет, в течение которых совершалось почти непрерывное революционирование естествознания. Теория относительности, квантовая механика, ядерная физика, кибернетика, молекулярная биология, геновая инженерия означали в мировоззренческом и методологическом отношении полное крушение метафизического образа мышления. Философы неопозитивистского толка истолковывали этот факт как свидетельство необходимости «очистить» естествознание от философских представлений. К таким представлениям, в частности, относили признание независимой от познания реальности, признание принципиальной познаваемости мира. Эти материалистические положения неопозитивисты заменяли субъективистски-агностической гносеологией, возрождая по сути дела тот самый «физический» идеализм, несостоятельность которого была доказана Лениным.

Естествоиспытатели, как известно, отвергли неопозитивистский субъективизм и агностицизм, так же как и программу элиминации из наук о природе философских положений. Именно поэтому и сами неопозитивисты вынуждены были, в конечном итоге, признать, что философия и естествознание необходимым образом связаны друг с другом. Показательна в этом смысле последняя монография лидера неопозитивистского движения Р. Карнапа, которая называется «Философские основания физики»¹⁷. Мы, однако, не будем останавливаться на эволюции неопозитивистского представления об отношении между философией и естествознанием. Гораздо важнее указать на то, что наиболее выдающиеся естествоиспытатели нашего века не только занимались философией, но и внесли несомненный вклад в развитие философского знания. А. Эйнштейн, которому не только физика, но и философия обязаны новым, по существу диалектическим пониманием пространства и времени, был решительно убежден в том, что физика призвана также участвовать в

решении философских вопросов. Одним из таких вопросов является вопрос «почему», который с легкой руки неопозитивистов был объявлен неуместным и явно «метафизическим». Иного убеждения придерживался Эйнштейн, заявивший: «...мы хотим не только знать, как устроена природа (и как происходят природные явления), но и по возможности достичь цели, может быть утопической и дерзкой на вид, — узнать, почему природа является именно такой, а не другой»¹⁸.

А. Зоммерфельд приводит в одной из своих книг слова Эйнштейна: «Вся физика — это метафизика»¹⁹. Разумеется, слово «метафизика» обозначает в данном контексте философию, а Эйнштейн пользуется этим устаревшим термином потому, что он принципиально не приемлет позитивистского отрицания «метафизики». Развивая мысль Эйнштейна, Зоммерфельд пишет: «Современное естествознание действительно превращается в философию природы. Часто говорят о разделении и специализации науки, не замечая, что современная физика дает неслыханное углубление и объединение знания. Именно на пропитанной философией почве, на которой могли вырасти теория относительности и квантовая механика, может решить наука свою задачу: направлять внимание на всеобщее и рассматривать наиболее глубокие проблемы познания»²⁰.

Познание движется от явления к сущности, от одной сущности к другой, более глубокой. Именно это углубление познания, в какой бы области фундаментальных наук оно ни совершалось, приводит исследователя к философским проблемам, осмысление которых, в свою очередь, выявляет новые возможности и перспективы специальных научных исследований.

Ленинское положение о необходимости союза современного, т. е. диалектического, материализма с естествознанием, сформулированное свыше 60 лет тому назад, подтверждается, обогащается новым содержанием, конкретизируется в методологии и теории познания именно благодаря выдающимся достижениям современного естествознания.

¹⁷ Эйнштейн А. Физика и реальность. М., 1965, с. 265.

¹⁸ Зоммерфельд А. Пути познания в физике. М., 1973, с. 110.

²⁰ Там же, с. 87—88.

¹⁷ Эта книга, впервые вышедшая в США в 1966 г., была опубликована на русском языке: Карнап Р. Философские основания физики. М., 1971.

Микроконтактная спектроскопия металлов и сплавов

Б. И. Веркин



Борис Иеремиевич Веркин, академик АН УССР, доктор физико-математических наук, профессор, директор Физико-технического института низких температур АН УССР. Научные интересы связаны главным образом с физикой низких температур и ее применениями в различных областях науки и техники. В «Природе» опубликовал статью: Квантовые кристаллы и квантовая диффузия (1978, № 12). Лауреат Государственной премии СССР и Государственной премии УССР.

Из слов, составляющих название статьи, по-видимому, лишь последние три не нуждаются в пояснении. Для большинства читателей сочетание «микроконтактная спектроскопия» ни о чем не говорит. А между тем речь идет об области физики твердого тела, в которой за последнее время были получены весьма впечатляющие результаты, давшие в руки исследователей новый метод определения спектров так называемых элементарных возбуждений.

Согласно современным представлениям, энергия в металле распределяется между несколькими, относительно независимыми видами элементарных движений: смещением электронов проводимости, колебаниями узлов кристаллической решетки, плотности магнитных моментов частиц и т. д. Такие колебания, в свою очередь, могут быть представлены в виде совокупности монохроматических волн, которым в квантовой теории соответствуют распространяющиеся по кристаллической решетке частицы, точнее, квазичастицы, обладающие определенными значениями энергии и импульса (подобно тому как световые волны сопоставляются с квантами света — фотонами). В рамках этих представлений упругие колебания решетки — это фононные возбуждения, или фононы; колебания магнитных моментов — магноны и т. д.

Распределение колебаний по энергии — энергетические спектры электронов, фононов и магнонов — дают полный «портрет» материала, позволяющий не только установить многие его свойства, но и изменять их при необходимости направленным образом!

В настоящей статье будет рассказано о том, как один из самых «древних» и распространенных элементов электрических цепей — обычный электрический контакт — превратился в наши дни в руках физиков в мощный инструмент, облегчающий изучение как энергетических спектров различных видов элементарных возбуждений, так и механизмов взаимодействия между ними (что не менее важно). Но прежде напомним вкратце некоторые особенности протекания тока через электрические контакты.

РЕАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

Способность металлов проводить электрический ток лежит в основе многих физических эффектов и их широкого при-

¹ См., напр.: Каганов М. И. Электроны, фононы, магноны. М., 1979.

менения в различных отраслях науки и техники. Ученые и инженеры давно заметили, что в зоне соединения двух проводников, называемой электрическим контактом, разыгрывается ряд интересных физических явлений. В частности, электрическое сопротивление двух плотно прижатых друг к другу кусков металла заметно выше, нежели можно было бы ожидать, считая, что на всей поверхности соприкосновения электропроводность не отличается от таковой внутри проводников. Причин этого может быть несколько. Остановимся подробнее на двух из них, важных для дальнейшего изложения.

Первая обусловлена тем, что любая реальная поверхность имеет неровности, так что в зоне контакта электроды соприкасаются лишь на отдельных участках. Поэтому истинная площадь касания значительно меньше кажущейся площади соприкосновения электродов. Вторая причина состоит в том, что поверхности металлических электродов, как правило, покрыты тонким слоем окислов или других соединений, которые обладают диэлектрическими или полупроводниковыми свойствами. В результате далеко не на всей площади механического соприкосновения двух электродов между ними осуществляется прямой электрический контакт. Там, где пленка диэлектрика достаточно тонкая (несколько нанометров), значительная часть тока протекает через нее за счет квантовомеханического туннельного эффекта².

Физики обратили внимание на уникальную способность туннельного эффекта (в системе металл — диэлектрик — металл) инжектировать в металл электроны с избыточной энергией, равной разности потенциалов V на контакте, умноженной на элементарный заряд e . Они научились создавать между различными металлами туннельные электрические контакты, проводимость которых определяется только туннельным эффектом. Вольтамперная характеристика туннельного контакта, т. е. зависимость силы тока I от величины приложенной разности потенциалов V , нелинейна, а ее производные при гелиевых температурах ($T \leq 4,2$ К) содержат ряд особенностей, форма и положение которых на оси

напряжений связаны с особенностями энергетического спектра электронных и решеточных возбуждений, например фононов, в тех материалах, из которых состоит этот контакт. Так возникла целая область физики твердого тела — туннельная спектроскопия, наиболее значительные успехи которой относятся к изучению энергетического спектра сверхпроводников. Интересно, что именно для туннельных контактов Б. Джозефсон в 1962 г. предсказал свои знаменитые эффекты и на туннельных контактах их впервые обнаружили экспериментально³. В частности, прямое экспериментальное подтверждение нестационарного эффекта Джозефсона было получено в 1964 г. в Физико-техническом институте низких температур (ФТИНТ) АН УССР, когда исследователи обнаружили электромагнитное излучение, генерируемое сверхпроводящим туннельным переходом⁴.

Однако в реальных электрических контактах большая часть тока проходит через те области, где соприкосновение происходит между чистыми, неокисленными участками поверхности металлических электродов. Здесь ток встречает наименьшее сопротивление и поэтому концентрируется. Возрастание плотности тока вблизи таких проводящих «пятен» при обычных условиях (т. е. при комнатной температуре и достаточно больших размерах этих «пятен») сопровождается джоулевым разогревом металла. Поскольку отвод тепла от горячей области в глубь образца происходит в основном за счет движения электронов проводимости, между падением напряжения V в области концентрации линий тока и температурой T_0 металла в ее центре существует простая связь $T_0 = aV$ (коэффици-

³ Эти эффекты наблюдаются при протекании тока через так называемый контакт Джозефсона, образованный тонким (несколько нанометров) слоем диэлектрика или металла, находящегося в нормальном состоянии, который разделяет два сверхпроводника. Если ток через такой контакт не превышает критического значения, то падение напряжения на нем отсутствует (стационарный эффект Джозефсона). Нестационарный эффект имеет место в том случае, когда сила тока через контакт больше критической. При этом оказывается, что, если между сверхпроводниками приложена постоянная разность потенциалов V , то через контакт протекает переменный ток с частотой $\omega = 2eV/\hbar$, где \hbar — постоянная Планка. Подробнее об этом см.: Питавский Л. П. Макроскопические квантовые явления. — Природа, 1980, № 4, с. 40.
⁴ Янсон И. К., Свистунов В. М., Дмятренко И. М. — ЖЭТФ, 1965, т. 48, вып. 3, с. 976.

² Туннельный эффект является следствием соотношения неопределенностей и состоит в том, что квантовая частица с отличной от нуля вероятностью может проникнуть через потенциальный барьер — область, где потенциальная энергия превышает ее полную энергию.

циент $a=3,2 \text{ К/мВ}$), обусловленная законом Видемана — Франца⁵.

Нелинейность вольтамперной характеристики такого контакта определяется зависимостью удельного сопротивления ρ от температуры, поэтому, измеряя при низких температурах зависимость сопротивления контакта от напряжения, можно восстановить функцию $\rho(T)$ в довольно широкой области температур, не прибегая к весьма сложным прямым температурным измерениям. К преимуществам этого метода следует отнести также возможность точно контролировать малые изменения температуры и, таким образом, непосредственно регистрировать производные $d\rho/dT$ вблизи особых точек, например фазового перехода металла из ферромагнитного в парамагнитное состояние. Упомянутый метод получил название «модуляционной температурной спектроскопии»⁶. Заметим, что при этом размер контакта не ограничен сверху, а результат не зависит от геометрии сужения. Требуется только, чтобы существовала область концентрации линий тока, из которой отвод тепла осуществлялся бы преимущественно в глубь металла и главным образом за счет электронной теплопроводности.

ЧТО ТАКОЕ МИКРОКОНТАКТ

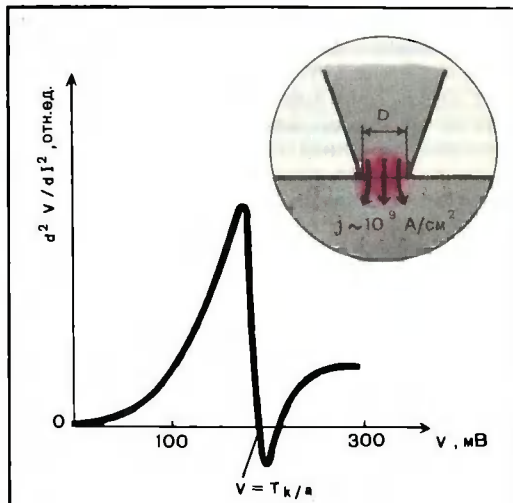
Принципиально новая ситуация возникает, если постепенно уменьшать размер области сужения. Так мы приходим к понятию микроконтакта, хорошей моделью которого может служить непроницаемая для электронов перегородка Σ , разделяющая два металла и имеющая отверстие достаточно малого размера D .

Сразу же возникает вопрос: по сравнению с чем должен быть мал диаметр отверстия или другой аналогичный параметр, характеризующий размер области сужения произвольной формы? Ответ на него зависит от того, какое явление изучается с использованием такого контакта.

В физике сверхпроводимости этим параметром служит так называемая длина когерентности $\xi \approx 10^{-4} - 10^{-6} \text{ см}$, определяющая «размер» куперовской пары элект-

тронов⁷. В сверхпроводящих микроконтактах, размер которых меньше ξ , эффекты Джозефсона проявляются так же, как и в туннельных структурах, что широко применяется на практике.

Для обычных проводников таким параметром является средняя длина l свободного пробега электронов проводимости, которая в чистых металлах существенно зависит от температуры. При низких температурах она становится макроскопически большой, достигая миллиметров и даже сантиметров. При этом движение электрона



Вторая производная (в относительных единицах), вольтамперной характеристики никелевого микроконтакта, размеры которого велики по сравнению с длиной пробега электронов. Особенность при значении разности потенциалов $V = T_k / a$ ($a = 3,2 \text{ К/мВ}$, T_k для Ni равна 638 К) соответствует разогреву контакта до температуры Кюри T_k , при которой наблюдается фазовый переход из ферромагнитного в парамагнитное состояние. Вверху схематически изображен контакт с эффективным размером D , образующийся при соприкосновении заостренного и плоского электродов. Цветным кружком выделена область максимальной плотности тока j .

между отдельными соударениями с тепловыми колебаниями или статистическими нерегулярностями решетки происходит по инерции (в этом случае говорят о баллистическом режиме движения электронов).

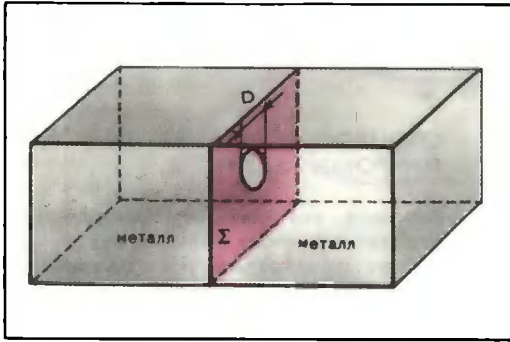
В Институте физических проблем АН СССР Ю. В. Шарвиним были впервые

⁵ Закон Видемана — Франца. $\rho_0 = bT$ устанавливает взаимосвязь между теплопроводностью металла χ и его удельным сопротивлением ρ , объясняемую тем, что обе эти характеристики определяются движением электронов (b — постоянная, одинаковая для всех металлов).

⁶ Веркин Б. И., Янсон И. К. и др. — Известия АН СССР, сер. физ., 1980, т. 44, вып. 7, с. 1330.

⁷ Эти пары образуются в сверхпроводнике за счет того, что в результате взаимодействия с фононами электроны проводимости наряду с обычными силами электрического отталкивания подвержены действию эффективных сил притяжения.

предложены эксперименты, в которых микроконтакты использовались для инжекции электронов в металлические пластины⁸. С этой целью расходящийся пучок электронов фокусировался магнитным полем и собирался в другом месте на поверхности пластины, где был расположен второй аналогичный контакт, выполняющий роль детектора. Изменяя величину магнитного поля и взаимное расположение этих контактов на поверхности образца, можно наблюдать фокусировку электронов как вдоль, так и поперек направления силовых линий



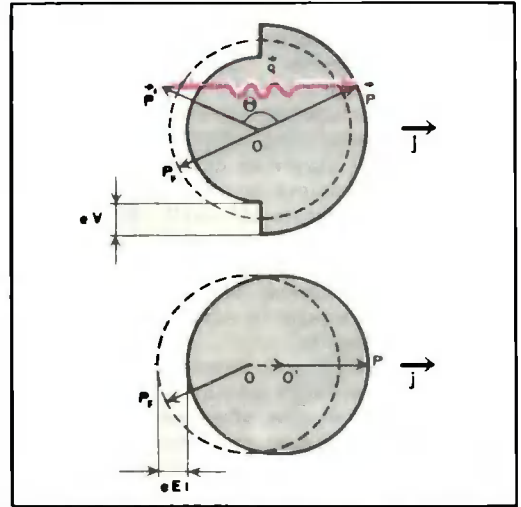
Модель микроконтакта — отверстие диаметром D в непроницаемой для электронов перегородке Σ , разделяющей два металла.

поля. Причем в последнем случае детектор способен регистрировать не только электроны, непосредственно испущенные инжектором, но и претерпевшие одно или несколько отражений от поверхности образца. Результаты исследований такого рода, впервые проведенных В. С. Цоем в Институте физики твердого тела АН СССР, дали полезную информацию о поверхности Ферми, а также о рассеянии электронов поверхностью образца⁹.

В опытах по фокусировке энергия инжектированных электронов незначительно отличалась от равновесной (определяемой температурой образца), а длина пробега намного превышала диаметр контакта. При этом сопротивление чистого микроконтак-

та $R \sim p_F / (ne^2 D^2)$ (p_F — импульс электронов на поверхности Ферми, n — концентрация электронов) и не зависит от длины пробега, что позволяет оценить размер контакта по его сопротивлению.

Длина пробега электрона связана с его энергией. Прикладывая к микроконтакту разность потенциалов V , мы как бы разбиваем все электроны в окрестности любой его точки на две группы, соответствующие частицам, пришедшим из отдельных областей, которые расположены справа и слева от контакта. Максимальные энергии этих



Диаметральные поперечные сечения распределений электронов по импульсам в микроконтакте (z в er - x y) и однородном образце (z в iz u). Границы сечений показаны сплошными линиями. В модели свободных электронов в равновесии (при отсутствии тока) занятые электронные состояния ограничены сферой радиусом r_F с центром в точке O . Для неравновесных распределений занятые состояния выделены тоном. На верхнем рисунке волнистой линией изображен фон с импульсом \vec{p} , испускаемый при рассеянии электрона на угол θ в результате перехода из состояния с импульсом \vec{p}' в состояние с импульсом \vec{p} . Разность энергий электронов в правой и левой частях неравновесного распределения для микроконтакта равна eV . В однородном образце неравновесное распределение отличается от равновесного сдвигом OO' вдоль направления дрейфа электронов j . Максимальная разность энергий, соответствующая этому сдвигу, порядка eEl и намного меньше eV .

групп отличаются на величину eV (с точностью до тепловых флуктуаций порядка kT , где k — постоянная Больцмана).

Неравновесное распределение электронов проводимости по импульсам, которое обусловлено протеканием тока через контакт, для окрестности произвольной точки, лежащей в плоскости контакта, заметно

⁸ Шарвин Ю. В. — ЖЭТФ, 1965, т. 48, вып. 3, с. 984.

⁹ Цой В. С. — Письма в ЖЭТФ, 1974, т. 19, вып. 2, с. 114. О поверхности Ферми — важнейшей характеристике, определяющей многие свойства вещества, см.: Каганов М. И., Филатов А. П. Поверхность Ферми. — Природа, 1968, № 5, с. 22; 1969, № 3, с. 15; Каганов М. И. Электроны на поверхности Ферми. — Природа, 1981, № 8, с. 20.

отличается от распределения, возникающего при протекании тока через однородный образец. Это отличие имеет как количественный, так и качественный характер. В однородном образце с напряженностью электрического поля E невозможно создать сколько-нибудь значительные (по сравнению, например, с характерными энергиями фононов) перепады электронных энергий eE , поскольку им соответствуют огромные плотности тока, недостижимые на практике из-за разогрева и плавления металла, т. е. в действительности $eE \ll eV$. Если размеры контакта малы по сравнению с длиной пробега электронов, то в чистом металле они малы также и по сравнению с фоновой длиной пробега, а это означает, что фононы свободно уходят из области сужения в окружающие ее массивные «берега», которые играют роль эффективных поглотителей тепла. Другими словами, несмотря на то что плотности тока в области сужения может достигать 10^9 — 10^{10} А/см², движущиеся электроны не чувствуют присутствия неравновесных фононов. Для этих электронов решетка остается холодной, хотя из зоны контакта испускаются неравновесные фононы.

С качественной точки зрения важно, что в микроконтакте между любыми двумя точками поверхности, образуемой неравновесной функцией распределения в импульсном пространстве и отделяющей состояния, занятые электронами, от свободных, разность энергий равна нулю или eV , тогда как в однородном образце она распределена непрерывно в довольно широком интервале значений. Именно это обстоятельство и позволяет использовать микроконтакты в качестве своеобразных детекторов, регистрирующих фоновые спектры металлов.

Мысль о том, что влияние разности потенциалов, приложенной к контакту, на длину пробега электронов должно отражаться на его вольтамперной характеристике, высказывалась с самого начала изучения свойств микроконтактов. Трудность, однако, состояла в том, чтобы отделить это влияние от маскирующих его эффектов: действия магнитного поля тока в опытах по фокусировке электронов, сверхпроводимости или теплового движения при исследовании нелинейности вольтамперных характеристик самих контактов. Особенно серьезные препятствия возникают из-за теплового движения, что становится понятным, если обратиться к числовым оценкам интересующих нас величин.

Зависимость длины пробега от энер-

гии проявляется наиболее ярко, если избыточная энергия электронов сравнима с характерными энергиями фононов в металле, сопоставимыми, в свою очередь, с дебаевской энергией (максимальной энергией колебаний атомов кристаллической решетки). Длина же пробега электронов с такими энергиями очень мала: для различных металлов она изменяется от нескольких десятков до нескольких сотен нанометров. Избавиться от тепловых эффектов и реализовать баллистический режим можно лишь в том случае, когда размер контакта, по крайней мере, на порядок меньше длины пробега. Ясно, что создание микроконтактов с размерами в несколько нанометров представляет собой далеко не простую задачу.

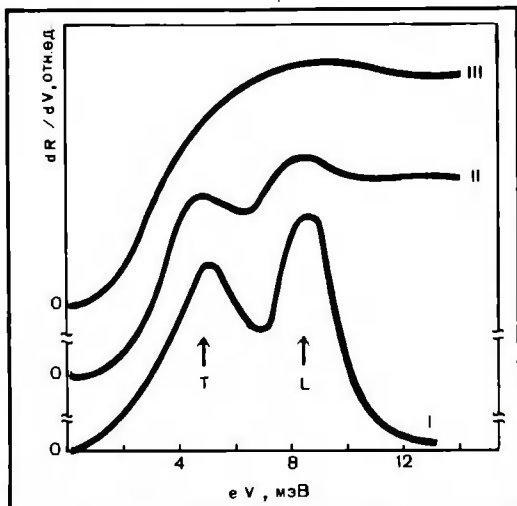
СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИКРОКОНТАКТОВ

Впервые эти свойства обнаружили, исследуя нелинейности вольтамперных характеристик короткозамкнутых туннельных контактов. Такие нелинейности часто наблюдаются при изучении туннельного эффекта в пленочных структурах металл — диэлектрик — металл. Прежде подобные контакты считали непригодными и просто выбрасывали. В начале 70-х годов сотрудник ФТИНта И. К. Янсон заинтересовался корреляцией между напряжениями, при которых возникали особенности вольтамперных характеристик подобных контактов, и дебаевскими энергиями металлов, из которых они были образованы. В первых опытах такого рода не удалось избавиться от значительного нагрева образцов за счет джоулевых потерь, что привело к существенным искажениям зависимости длины пробега от энергии. Это означало, что размер использованных контактов все еще был больше длины пробега электронов. Однако направление поисков было выбрано правильно.

Ранее было известно, что диаметр металлической перемычки, создаваемой, например, в результате точечной микросварки, близок к толщине диэлектрической прослойки, разделяющей два металла. Толщина слоя диэлектрика в туннельном контакте, как указывалось, не превышает нескольких нанометров. Поэтому можно было надеяться на успех попыток создать «отверстие» такого диаметра. Основная же трудность была связана с необходимостью сохранить микроконтакт на все время измерений, поскольку даже малый импульс тока, вызванный, допустим, элект-

рической наводкой, легко мог его разрушить.

В конце концов экспериментатор добился этого. Один из свинцовых туннельных контактов, сопротивление которого в обычном состоянии составляло сотни килоом, удалось «закоротить» в жидком гелии до сопротивления приблизительно 300 Ом, что соответствовало диаметру имитирующего отверстия около 2 нм. Первая же регистрация производной вольт-амперной характеристики этого контакта привела к результатам, которые превзошли



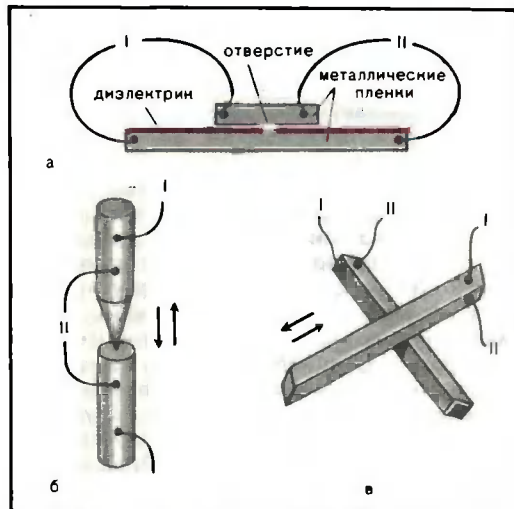
Вторая производная вольт-амперных характеристик короткозамкнутого туннельного контакта из свинца. Видно, что по мере падения сопротивления контакта (I — 314 Ом, II — 5,8 Ом, III — 0,3 Ом) в результате его дополнительной «заварки» протекающим током информативность экспериментальных кривых снижается. Стрелки указывают положения максимумов плотности состояний фононов с поперечной [T] и продольной [L] поляризацией [по данным нейтронных исследований].

все ожидания: перо самопишущего потенциометра «нарисовало» фононный спектр свинца, связанный с колебаниями его кристаллической решетки и хорошо известный специалистам по данным нейтронных исследований¹⁰. При дальнейшем уменьшении сопротивления контакта (за счет его «заварки» током) эффективный размер контакта возрастал и наблюдался переход из баллистического в тепловой режим, в результате чего максимумы постепенно исчезали. Эти удивительные результаты и положили начало микро-

контактной спектроскопии фононов в металлах.

Позже были предложены другие способы создания микроконтактов, которые привели к значительному повышению их качества и сделали возможным исследование монокристаллов заданной ориентации.

Следует отметить, что микроконтактная спектроскопия была бы не осуществима, если бы наблюдаемые характеристики существенно зависели от геометрических параметров микроконтакта, которые из-за



Различные способы получения микроконтактов: а — пленочные структуры металл — диэлектрик — металл; б — прижимной контакт иглы — наковальня; в — контакт, образуемый на пересечении ребер многогранников. Стрелками указаны направления перемещения электродов для создания контактов. I — проводники, подводящие ток к контакту; II — проводники, используемые для измерения напряжения.

чрезвычайно малых размеров контакта невозможно непосредственно контролировать. Однако опыт свидетельствует, что при надлежащем отборе микроконтактов воспроизводимость спектров, полученных с их помощью, не хуже, чем, например, в туннельной спектроскопии сверхпроводников.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОНФОНОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Если бы электроны не рассеивались кристаллической решеткой металла в зоне микроконтакта, то его вольт-амперная ха-

¹⁰ Янсон И. К. — ЖЭТФ, 1974, т. 66, вып. 3, с. 1035.

рактеристика была бы линейной. Существует, однако, малая, но конечная (порядка D/l) вероятность рассеяния электрона на фононе вблизи сужения. При низких температурах доминирует испускание фононов электронами. Следовательно, состояние электрона до рассеяния должно относиться к правой половине неравновесной функции распределения, а после рассеяния — к ее левой половине, где энергия электронов меньше. За счет рассеяния электронов на фононах возле отверстия, имитирующего микроконтакт, возникают засилье от величины V поправки к его сопротивлению, на учете которых и базируется микроконтактная спектроскопия. С увеличением энергии электронов длина их пробега уменьшается, а вероятность испускания фононов возрастает. Это приводит к отклонениям вольтамперной характеристики от закона Ома, соответствующим заметному (десятки процентов) росту сопротивления контакта.

Из сказанного следует, что зависимость дифференциального сопротивления контакта от напряжения обусловлена в основном испусканием фононов с максимальной энергией $\hbar\omega = eV$. При изменении разности потенциалов на dV изменение дифференциального сопротивления dR пропорционально вероятности испускания в зоне контакта фонона с частотой ω : $dR \sim G(\omega)dV$. Вероятность же $G(\omega)$, в свою очередь, пропорциональна плотности фононных состояний $F(\omega)$ и так называемому динамическому форм-фактору $\alpha_p^2(\omega)$, представляющему собой усредненный по всем состояниям электронов квадрат матричного элемента электрон-фононного взаимодействия. Этот форм-фактор отражает динамику взаимодействия электронов с фононами в микроконтакте, характеризуемом определенной геометрической формой и размерами.

При усреднении по всем состояниям электронов их рассеяние на разные углы θ будет вносить различный вклад в сопротивление. Так, например, рассеяние на угол $\theta = \pi$ одинаково эффективно для всех «энергичных» электронов, поскольку неизбежно переводит любой из них из состояния, относящегося к правой половине неравновесного распределения, в свободное состояние левой половины с энергией, отличающейся на eV . Уменьшение же угла рассеяния приводит к быстрому падению числа возможных актов рассеяния с испусканием фононов, поэтому приближенно можно считать, что для релаксации неравновесной функции распределения (т. е.

перехода к равновесному распределению) существенно только рассеяние электронов назад. Этим ситуация в микроконтакте отличается от рассеяния электронов на фононах в однородном образце с током, которое объясняет обычное электрическое сопротивление проводников, или от виртуального электрон-фононного взаимодействия, ответственного за сверхпроводимость. В первом случае эффективность рассеяния (т. е. его вклад в изменение сопротивления) возрастает с углом рассеяния, как $1 - \cos\theta$. Во втором — она вообще не зависит от угла.

Произведение форм-фактора на плотность фононных состояний, имеющее, как указывалось ранее, смысл вероятности испускания фонона с частотой ω , обычно называют спектральной функцией электрон-фононного взаимодействия. Различают транспортную функцию электрон-фононного взаимодействия для протекания тока через однородный проводник и термодинамическую функцию электрон-фононного взаимодействия (функцию Элиашберга) для сверхпроводников. Последняя определяет также перенормировку эффективной массы, скорости и плотности состояний электронов в обычном проводнике, обусловленную их взаимодействием с фононами.

Микроконтактная спектральная функция $G(\omega)$, которая вводится по аналогии с перечисленными выше, представляет собой разновидность транспортной функции электрон-фононного взаимодействия, отличающуюся, однако, более сильной зависимостью от угла рассеяния. Например, для микроконтакта, моделируемого отверстием, эта зависимость определяется выражением $(1 - \theta/\text{tg}\theta)/2$. Важно подчеркнуть, что рассеяние на большие углы происходит в основном благодаря одновременному с испусканием фонона брэгговскому отражению электрона от кристаллических плоскостей.

Теория микроконтактной спектроскопии была разработана во ФТИНТе И. О. Куликом, А. Н. Омелянчуком и Р. И. Шехтером¹¹. Основной их результат — доказательство прямой пропорциональности между функцией $G(\omega)$ и второй производной вольтамперной характеристики. В теории также определяются неравновесные функции распределения, рассмотренные выше, и форм-факторы для контактов различной геометрии.

Сравнивая микроконтактные функции

¹¹ Кулик И. О., Омелянчук А. Н., Шехтер Р. И. — Физ. низк. темп., 1977, т. 3, вып. 12, с. 1543.

электрон-фононного взаимодействия с плотностью фононных состояний для различных металлов, можно исследовать влияние поверхности Ферми на динамику электрон-фононного взаимодействия¹². Так, в щелочных металлах (натрий, калий) с объемноцентрированными кубическими решетками и закрытыми поверхностями Ферми фононы с поперечной поляризацией почти не дают вклада в функцию электрон-фононного взаимодействия. В благородных же металлах с гранецентрированными кубическими решетками (медь, серебро, золото), в которых поверхности Ферми открыты вдоль некоторых главных кристаллографических направлений — пространственных диагоналей элементарных ячеек, основную роль играют как раз фононы с поперечной поляризацией. Наконец, в поливалентных металлах (олово, свинец), поверхности Ферми которых открыты во многих кристаллографических направлениях, в рассеянии участвуют практически равноправно фононы как с поперечной, так и с продольной поляризацией. В последнем случае все упомянутые выше функции электрон-фононного взаимодействия примерно одинаковы и мало отличаются от плотности фононных состояний. Иными словами, для этих металлов можно считать форм-фактор величины постоянной. Последнее обстоятельство и явилось причиной того, что самопишущий потенциометр, регистрирующий зависимость второй производной вольтамперной характеристики от напряжения, в упомянутых выше экспериментах со свинцовыми контактами непосредственно воспроизвел фононный спектр этого металла.

Интересно проследить за изменением полученных с помощью микроконтактов фононных спектров металлов, которое обусловлено уменьшением упругой длины пробега электронов, определяемой их упругим рассеянием на примесях или других дефектах кристаллической структуры. Поскольку рассеяние на таких дефектах происходит на большие углы, то при наличии дефектов в области сужения некоторые состояния, относящиеся к правой части неравновесной функции распределения, окажутся свободными, тогда как состояния с той же энергией в ее левой части — занятыми. Это, в свою очередь, приведет к уменьшению числа возможных неупругих процессов рассеяния электронов

на фонах и, как следствие, к уменьшению отклонения вольтамперной характеристики от закона Ома и спаду амплитуд особенностей на графике функции dR/dV . Тем не менее, если длина релаксации¹³ $\Delta \approx \sqrt{l_0 \cdot l_1}$ (где l_0 и l_1 — упругая и неупругая длина пробега соответственно) остается больше размера контакта, электроны в окрестности любой точки вблизи сужения по-прежнему можно разделить на две группы, соответствующие частицам, пришедшим из отдаленных областей слева и справа от контакта, и имеющие максимальные энергии, отличающиеся на eV . В этих условиях производная вольтамперной характеристики также пропорциональна функции $G(\omega)$, соответствующей, однако, протеканию тока через однородный образец¹⁴. Движение носителей заряда в этом режиме, называемом диффузионным, напоминает «блуждание» броуновской частицы.

Таким образом, условия баллистического режима не обязательны для микроконтактной спектроскопии. Необходимым и достаточным условием ее применимости, как ясно из сказанного выше, оказывается лишь наличие в области контакта двух групп электронов, максимальные энергии которых различаются на eV (независимо от того, каково импульсное распределение этих электронов). Это делает микроконтактную спектроскопию пригодной для изучения свойств не только чистых металлов, но и сплавов.

ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

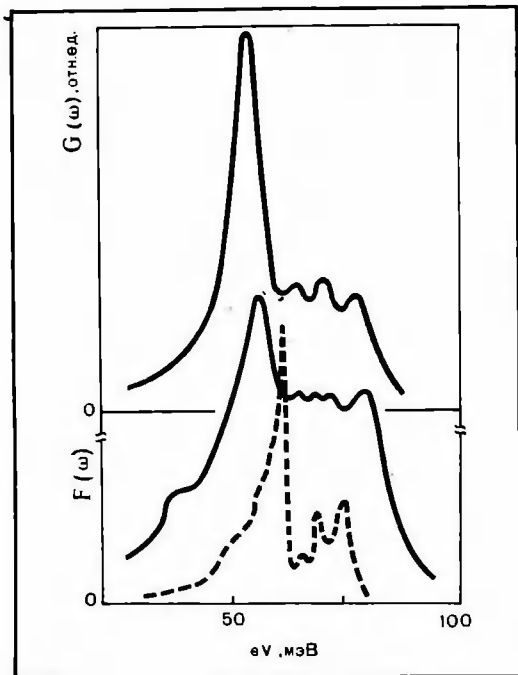
Поскольку спектральная функция электрон-фононного взаимодействия незначительно отличается от плотности фононных состояний, о микроконтактной спектроскопии можно говорить не только как об эффективном инструменте изучения этого взаимодействия, но и как о новом методе спектроскопии фононов в металлах. Немаловажное значение имеют простота и доступность микроконтактных исследований для любой современной физической лаборатории. С помощью микроконтактной спектроскопии удалось уточнить положение экстремумов и других особых точек функции $F(\omega)$, а для многих металлов — даже установить форму всей кривой и оп-

¹² Изображения поверхностей Ферми различных металлов приведены, например, в статье М. И. Каганова (см. сноску 9).

¹³ Длина релаксации — расстояние, на котором электрон теряет избыточную (по сравнению с равновесной) энергию.

¹⁴ Кулик И. О., Янсон И. К. — Физ. низк. темп., 1978, т. 4, вып. 10, с. 1267.

ределить относительные интенсивности пиков в фоновом спектре. Целесообразность использования микроконтактной спектроскопии для уточнения фоновонного спектра обусловлена тем, что нахождение функции традиционным методом рассеяния нейтронов в кристаллах требует весьма длительных и сложных измерений в больших монокристаллах и последующих трудоемких расчетов, а прямые (безмодельные) методы измерения плотности фоновонных состояний с помощью нейтронного рассеяния обладают низкой точностью и ма-



Фоновонные спектры бериллия. Цветная кривая соответствует микроконтактной функции $G(\omega)$ электрон-фоновонного взаимодействия, автоматически регистрируемой на ленте самопишущего потенциометра. Для сравнения приведены плотности $F(\omega)$ фоновонных состояний, полученные с помощью рассеяния нейтронов в результате модельного (штриховая линия) и безмодельного (сплошная) анализа.

лым энергетическим разрешением. В качестве примера, демонстрирующего преимущества микроконтактной спектроскопии, полученную с ее помощью функцию $G(\omega)$ для бериллия можно сравнить с фоновонными спектрами $F(\omega)$, восстановленными из нейтронных экспериментов, проведенных с использованием различных методик. При этом оказывается,

что положение максимумов на микроконтактном спектре лишь отчасти совпадает с нейтронными данными. Последние заметно отличаются друг от друга, что свидетельствует об их приближенном характере.

С другой стороны, спектральная функция $G(\omega)$ сама по себе имеет фундаментальное значение, определяющее свойства металла, обусловленные взаимодействием электронов с фононами, в частности, возможность перехода в сверхпроводящее состояние, а также различные кинетические параметры, характеризующие перенос заряда и энергии. Чтобы проиллюстрировать ценность этой «избыточной» информации, содержащейся в микроконтактных спектрах, упомянем о программе, начало которой недавно было положено работами нескольких исследовательских групп у нас в стране и за рубежом¹⁵. Речь идет о вычислении свойств металла из «первых принципов», с использованием так называемого псевдопотенциала, описывающего взаимодействие частиц. Выбор псевдопотенциала иона в кристаллической решетке в известной степени произволен и может быть оправдан a posteriori путем сопоставления результатов расчетов с данными экспериментов. Так как зависимость сравниваемых величин от псевдопотенциала имеет, как правило, интегральный характер, согласие рассчитанных значений какого-либо параметра с экспериментальными отнюдь не гарантирует подобного совпадения при вычислении других параметров и, следовательно, правильности выбора псевдопотенциала.

Микроконтактная спектроскопия дала в руки физиков-теоретиков тот «пробный камень», на котором может быть проверен детальный вид псевдопотенциала. Задача теперь формулируется следующим образом: найти зависимость псевдопотенциала от переданного импульса q , используя информацию об электрон-фоновонном взаимодействии, содержащуюся в микроконтактных спектрах. Решив ее, исследователи получат ключ к более точному определению свойств металла. Таким образом, открываются перспективы изучения электрон-фоновонной системы практически в любых металлах и сплавах, становится реальным целенаправленный поиск материалов с заданными свойствами.

¹⁵Жернов А. П., Найдюк Ю. Г. и др.— Физ. низк. темп., 1982, т. 8, вып. 7, с. 713; Ashraf M., Swihart J. C. — Phys. Rev., 1982, v. B25, № 4, p. 2094.

В этом направлении уже проведены первые эксперименты, которые показали, как изменяются спектры фоновых возбуждений при внесении в металл примесей, масса которых существенно отличается от массы атомов решетки¹⁶.

Не менее интересна также возможность изучения энергетической зависимости рассеяния электронов на примесях с локализованными магнитными моментами, проливающего свет на интересующую многих теоретиков так называемую проблему Кондо¹⁷.

В принципе любой зависящий от энергии механизм рассеяния электронов в металле может быть исследован с помощью микроконтактной спектроскопии. В частности, уже предприняты успешные попытки наблюдения рассеяния электронов на колебаниях магнитных моментов в магнитоупорядоченных металлах (ферромагнетиках, антиферромагнетиках, ферримагнетиках), которые позволяют говорить о реальности микроконтактной спектроскопии магнов¹⁸.

Микроконтактная спектроскопия — новая область фундаментальной физики металлов. Однако уже сейчас видны перспективные направления ее использования в технике. Так, например, явления, происходящие при контактной сварке металлов, имеют прямое отношение к протеканию тока через точечные контакты. В частности, соотношение между температурой и напряжением на контакте может быть положено на основу разработок автоматических систем управления сваркой.

Другой пример относится к микроэлектронике. Надежность работы микроэлектронных устройств в значительной степени зависит от качества электрических контактов. Известны случаи механического разрушения таких контактов при длительном протекании тока. Этот эффект обусловлен движением структурных дефектов под «давлением» электронов (напомним, что в контактах достигаются громадные плотности тока). При наличии макроскопических неоднородностей в центре сужения дефекты накапливаются в зоне контакта, вызывая его разрушение. Микроконтактная

спектроскопия позволяет получить «снимок» состояния металла и тем самым исключить применение дефектных контактов.

Изучение электрических шумов в микроконтактах также имеет большое практическое значение, поскольку эти шумы зачастую определяют пороговую чувствительность микрорезистивных устройств, в том числе работающих при низких температурах. Недавно были проведены исследования зависимости интенсивности низкочастотных электрических флуктуаций от разности потенциалов на контакте¹⁹. Оказалось, что эта зависимость немонотонна. При значениях напряжения, соответствующих особым точкам в фоновом спектре металла, интенсивность шума резко уменьшается, что, по всей вероятности, свидетельствует о корреляции между отдельными актами испускания фононов. При этом в зоне микроконтакта, по-видимому, испускаются когерентные фононы с очень высокой частотой (близкой к предельным частотам колебаний решетки данного металла).

Спектроскопия электрических флуктуаций в микроконтактах только делает первые шаги, но уже сейчас ясно, что она может служить источником новой информации об электрон-фононном и других взаимодействиях в металлах и сплавах.

В заключение следует отметить, что география исследований в области микроконтактной спектроскопии в последние годы заметно расширяется. В нашей стране работы по микроконтактной спектроскопии проводятся в настоящее время также в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова и в Институте физики твердого тела АН СССР. Ряд важных результатов принадлежит голландским ученым. В частности, они предложили микроконтакты «игла — наковальня» и описали многофононные процессы в контактах. Исследователи из ФРГ использовали микроконтактную спектроскопию для изучения энергетического спектра обладающих высоким сопротивлением сплавов редкоземельных элементов. Физики США и Канады активно работают над теорией микроконтактной спектроскопии. Таким образом, можно надеяться, что в недалеком будущем этот метод будет применяться для исследования энергетического спектра металлов так же широко, как туннельная спектроскопия сегодня.

¹⁶ Найдюк Ю. Г., Черноплеков Н. А. и др. — ЖЭТФ, 1982, т. 83, вып. 3, с. 1177.

¹⁷ Проблема Кондо — это задача о взаимодействии спина неподвижной примеси со свободными электронами в металле. Jansen A. G. M. et al. — J. Phys. F.: Metal Phys., 1981, v. 11, p. 15.

¹⁸ Акименко А. И., Янсон И. К. — Письма в ЖЭТФ, 1980, т. 31, вып. 4, с. 209.

¹⁹ Yanson I. K., Akimenko A. I., Verkin A. B. — Solid State Commun., 1982, v. 43, № 10, p. 765.

Парадокс Введенского в современной физиологии

Д. П. Матюшкин



Дмитрий Павлович Матюшкин, профессор, доктор медицинских наук, заведующий лабораторией нервно-мышечной физиологии Физиологического института им. А. А. Ухтомского Ленинградского государственного университета. Основные научные интересы связаны с проблемами клеточной специализации, клеточной реактивности и межклеточных взаимодействий. Автор книг: *Функциональные обратные связи в синапсах (факты и гипотезы)*. Л., 1973; *Анализ феноменов Введенского в современной нервно-мышечной физиологии*. Л., 1980; *Функциональные клеточные взаимодействия в нервно-мышечном аппарате*. Л., 1980.

Вопрос о механизме, а точнее, о механизмах торможения сигналов в нервной системе постоянно привлекает к себе внимание физиологов. Сегодня в этой области науки имеются большие достижения. Многие тормозные нервные механизмы изучены настолько глубоко, что могут быть подробно описаны в терминах физики и химии. Однако имеются и такие формы торможения в нервной системе, которые до сих пор остаются непонятыми.

Примером таких непонятых торможений до недавнего времени было торможение реакции нерва при увеличении силы стимулов, открытое еще в начале века известным русским физиологом Н. Е. Введенским. Обычно усиление стимулов усиливает ответ нерва. Но в особых условиях опыта Введенского — при обработке нерва кокаином или некоторыми другими агентами — усиление стимулов ослабляло ответ нерва. Это наблюдалось в определенной стадии опыта, которую Введенский назвал парадоксальной (мы будем называть обсуждаемое торможение «парадоксальным торможением» или просто «парадоксом Введенского»). В опыте Введенского кокаин (или какой-то другой агент, изменяющий состояние нерва) прикладывался к средней части нерва, т. е. между раздражающими электродами и тем местом, где нерв входит в мышцу — регистратор реакций

нерва. Это, как мы увидим далее, — важная подробность.

Введенский полагал, что все внешние физические и химические агенты, а также и сами нервные импульсы действуют на нерв по-разному, в зависимости от их дозы: при умеренных дозах они возбуждают или способствуют развитию возбуждения, а при больших (чрезмерных) — угнетают. Введенский полагал, что постепенно проникающее и действующее на среднюю часть нерва отравляющее вещество как бы проводит этот участок нерва через состояние повышенной возбудимости в состояние угнетения. Влияние нервных импульсов складывается с влиянием отравляющего вещества. И если отравленный участок нерва уже близок к угнетенному состоянию, то сильные нервные импульсы экстренно угнетают его и тормозятся в этом участке (слабые еще не угнетают и поэтому проходят к мышце). Угнетенное состояние нерва в области, обработанной теми или иными повреждающими агентами, Введенский обозначил словом «парабиоз» (буквально — «около жизни»). Этим он подчеркивал, что данное состояние как бы располагается на границе жизни, на черте, отделяющей нормальное состояние нерва от его повреждения. На основе рассмотренных фактов и соображений Введенский создал свою общую теорию тормо-

жения в нервной системе. Согласно его теории, все тормозящие нервные окончания действуют на тормозные клетки с помощью электрических или химических сигналов, вызывающих состояние парабиоза.

Парадоксальное торможение реакции при усилении стимулов Введенский и его последователи считали характерным признаком парабиоза. В первой половине текущего столетия теория торможения Введенского получила значительное распространение в отечественной физиологии. Она до сих пор излагается в учебниках. Однако

ослабленная реакция мышцы на сильные стимулы отмечается и тогда, когда эти стимулы следуют очень редко и когда реакция на каждый из них имеет характер одиночных ответов.

Л. В. Латманисова, а затем и автор этих строк предположили, что в каждом нервном волокне само поле сильного электрического стимула, опережая нервный импульс, достигает измененного участка и ухудшает его состояние, преграждая таким образом дорогу нервному импульсу. Однако выяснилось, что даже поле очень силь-

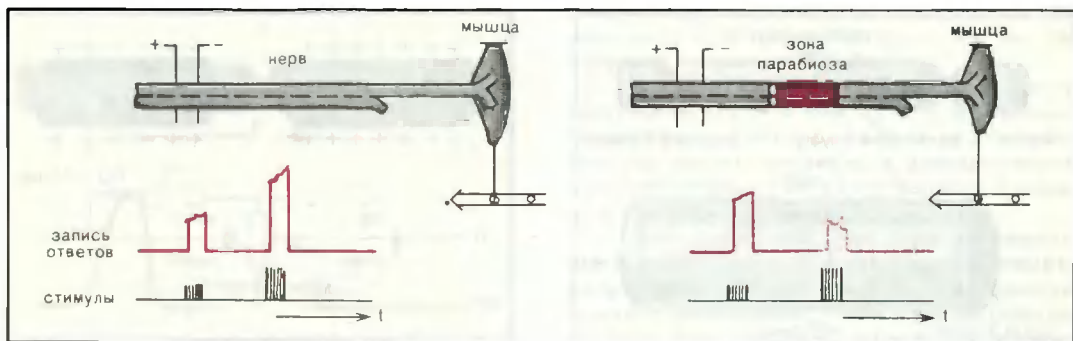


Схема опыта Введенского на нервно-мышечном препарате лягушки с нормальным нервом (слева) и с нервом, имеющим измененный участок (справа). В и з у — запись стимулов и ответов [мышечных сокращений].

в дальнейшем детальные исследования различных натуральных заторможенных состояний в нервной системе показали, что они, за редкими исключениями, не имеют парабиотической природы, а парадокс Введенского, получаемый на парабиотизированном нервно-мышечном аппарате, превратился прямо-таки в необъяснимое явление. Дело в том, что, как стало известно, величина распространяющегося нервного импульса в одиночном нервном волокне всегда одинакова и, по существу, не зависит от силы раздражения.

Парадоксальную реакцию нервно-мышечного аппарата на усиление стимулов, следующих друг за другом, пытались объяснить тем, что в ответ на каждый сильный стимул возникает серия нервных импульсов. При этом из-за чрезмерной их частоты в измененном участке может развиться блокада, что должно ослабить общую реакцию мышцы. Однако предполагаемое «умножение» ответов при усилении стимулов в двигательных нервных волокнах — явление очень редкое. В то же вре-

мя электрических стимулов существенно не влияет на участок нерва, удаленный от раздражающих электродов более чем на 8—10 мм. В то же время парадоксальные реакции на сильные стимулы получаются и тогда, когда расстояние между раздражающими электродами и измененным участком нерва составляет 20—25 мм¹.

Трудности объяснения парадокса Введенского порождали сомнения в его достоверности у противников теории Введенского, а у ее сторонников — сомнения в верности постулатов сегодняшней нейрофизиологии. Однако проведенные нами исследования подтвердили реальность парадоксальной реакции нерва и вместе с тем позволили объяснить этот факт в рамках принятых сегодня нейрофизиологических представлений². Но прежде чем перейти к изложению наших результатов, вспомним

¹ Мы не рассматриваем здесь ослабление потенциала действия сильным стимулом в точке раздражения. Это особый феномен, не имеющий прямого отношения к описанному Н. Е. Введенским.

² Матюшкин Д. П. Анализ феноменов Н. Е. Введенского в современной нервно-мышечной физиологии. Л., 1980; Виноградова И. М., Матюшкин Д. П., Шабанова И. А. — Доклады АН СССР, 1979, т. 248, № 2, с. 482.

некоторые важнейшие данные по физиологии нервного волокна и многоволоконного нервного ствола — нерва.

Нервные волокна (длинные отростки нервных клеток) — это цилиндрические образования, жидкое содержимое которых, обладающее высокой электропроводностью, отделено от окружающей среды оболочками с большим сопротивлением. Первая оболочка, так называемая плазматическая мембрана, покрывает все без исключения участки волокна. Вторая (внешняя) — шванновская оболочка — не сплошная;

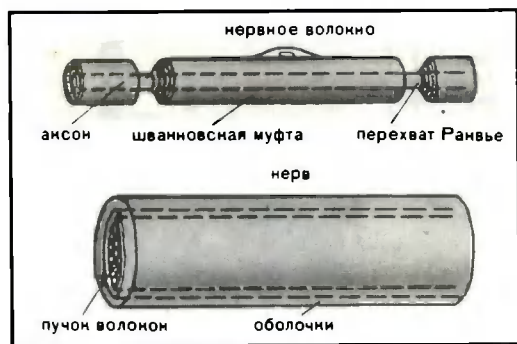


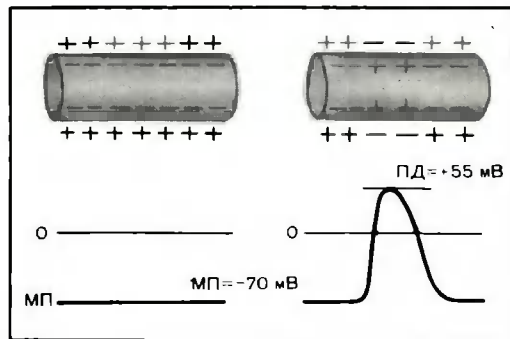
Схема строения нервного волокна и многоволоконного нервного кабеля — нерва.

она состоит из специальных клеток-сателлитов, которые как бы наматываются на волокно, формируя мощные электроизолирующие муфты; остающиеся между ними оголенные узкие участки плазматической мембраны называются перехватами Ранвье. Нерв представляет собой плотный пучок большого числа таких волокон (несколько тысяч), одетый общей оболочкой из эпителии и соединительной ткани.

Функция нервных волокон основывается на свойствах плазматической мембраны перехватов Ранвье, на ее способности к генерации потенциалов действия в ответ на электрический стимул. В покое мембрана заряжена снаружи положительно, а внутри отрицательно. Потенциал действия возникает на мембране перехвата Ранвье как плюс на ее внутренней поверхности и как минус на ее внешней, длится 1—2 мс и имеет величину порядка 0,1 В. Для того чтобы возник потенциал

действия, нужно снизить поляризацию покоя (например, внешним электрическим стимулом на короткое время).

Как распространяется возбуждение (или, иначе, потенциал действия) вдоль нервного волокна? Возбуждение какого-то перехвата, расположенного, допустим, в одном конце волокна, порождает ток в следующем покоящемся перехвате. В ответ на этот ток здесь получается возбуждение, т. е. потенциал действия. А дальше процесс, как эстафета, катится от перехвата к перехвату.



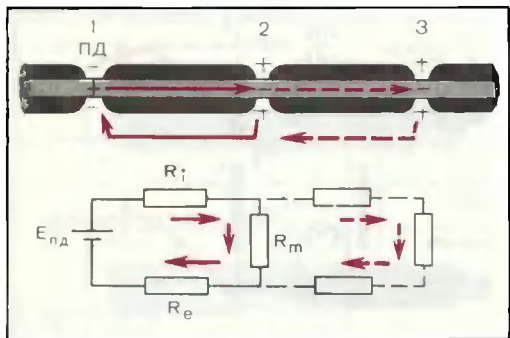
Поляризация покоящейся плазматической мембраны (слева) и инверсия ее при возбуждении (справа). Внизу — запись мембранного потенциала покоя (МП) и потенциала действия (ПД) во времени.

Важно отметить, что петля тока, связывающая возбужденный и покоящийся перехваты, протекает последовательно через три сопротивления: сопротивление аксоплазмы R_i , сопротивление мембраны покоящегося перехвата R_m и сопротивление внешней среды R_e . При стандартной величине потенциала действия возбужденного перехвата сила тока i в этой петле обратно пропорциональна сумме $R_i + R_m + R_e$, а при постоянстве R_i и R_m она зависит от изменений R_e .

Заметим, что в норме сила тока, порождаемого возбужденным перехватом, стандартна и избыточна, его действие на соседний перехват в 5—7 раз превосходит критическую величину. Это называется гарантийным фактором распространения нервного импульса. Если в каком-то участке изолированного одиночного нервного волокна поляризация мембраны ослаблена, т. е. имеется состояние парабриоза, то по

ряду причин гарантийный фактор здесь падает. Падение его до единицы делает волокно ненадежным, а ниже единицы — блокирует гарантийный фактор. Таким образом, развитие парабииотического блока в одиночном нервном волокне не содержит парадокса. Парадокс получается только на многоволоконном нервном стволе.

Как функционирует многоволоконный нервный ствол в норме? В первом приближении можно сказать, что составляющие его волокна работают независимо друг от друга; они только смонтиро-



Механизм распространения потенциала действия. При возбуждении перехвата 1 порожденные им петли тока выходят через перехваты 2 и 3, производя их частичную деполаризацию. Внизу — эквивалентная электрическая схема волокна. R_i — сопротивление аксоплазмы, R_e — сопротивление среды, R_m — сопротивление мембраны перехвата, $E_{нд}$ — разность потенциалов.

ваны в одном «многожильном кабеле». В естественных условиях их возбуждения асинхронны, при этом в чувствительных и двигательных волокнах они еще и движутся в разных направлениях. Но в эксперименте, когда резкое электрическое раздражение действует на один конец нерва, все его волокна реагируют синхронно и их импульсы распространяются в одном направлении. При этом суммарный сигнал массы волокон нерва (и ответ иннервируемой мышцы) тем больше, чем сильнее стимул, поскольку слабые стимулы раздражают лишь малую часть волокон нерва, а сильные — всю массу его волокон. Однако при действии на среднюю часть нерва неблагоприятных факторов суммарный сигнал нерва на стимул большой силы действительно ослабляется в измененном участке. Здесь Введенский был совершенно прав. Это было обнаружено, например, в опытах, поставленных нами с Л. Б. Кузьминой.

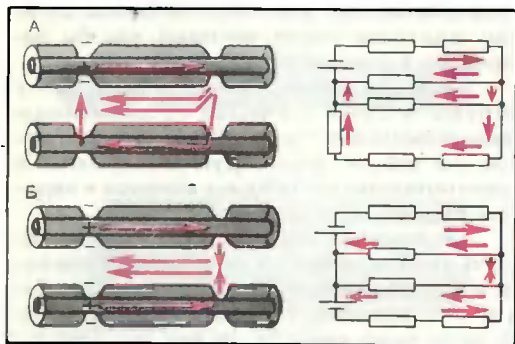
Мы регистрировали суммарный потенциал действия нерва в участке парабииоза, где волокна имеют сниженный гарантийный фактор. Этот участок располагался вблизи от периферического конца нерва. Одиночные электрические раздражения действовали на противоположный конец нерва. В этих условиях амплитуда потенциала действия ствола, пропорциональная числу активных волокон, при сильных стимулах меньше, чем при умеренных. Синхронный залп импульсов всей массы волокон нерва действительно почему-то не может без потерь войти в участок парабииоза. (Введенский, не зная о свойствах волокон, говорил о сильном импульсе нерва, который как бы застревает в участке парабииоза).

Что же мешает синхронному залпу импульсов войти в участок со сниженным гарантийным фактором? Ответ на этот вопрос мы нашли, анализируя электрические взаимоотношения соседних волокон в нервном стволе.

Вспомним, что сила тока, связывающего возбужденный и покоящийся перехваты Ранвье, находится в обратной зависимости от величины R_e . Если в нерве работает лишь одно волокно, то его ток использует всю внутриволоковую электропроводящую среду. При этом R_e оказывается минимальным ($\approx 0,2\%$ от R_m), а сила тока соответственно максимальной. Если синхронно в одном сечении нерва активируются два волокна, то их электрические поля, как и поля диполей, ориентированных противоположными полюсами в одну сторону, взаимно деформируются и как бы делят между собой внешнюю электропроводящую среду. При этом каждому волокну достается лишь половина электропроводящей среды, естественно с большим, но все еще незначительным сопротивлением. Если же синхронно и в одном сечении нерва активируются все его волокна, что бывает при действии сильного стимула, то на долю каждого из волокон приходится весьма малая часть общей внутриволоковой электропроводящей среды (по нашему расчету, здесь $R_e \approx 1/4R_m$). Можно ожидать, что в этой ситуации сила тока у каждого волокна снижается настолько, что заметно уменьшает его гарантийный фактор. В этом и лежит причина парадоксального торможения Введенского. Оно имеется и в нормальном нерве, где выражается лишь в небольшом падении скорости распространения возбуждения при усилении стимула. Но если гарантийный фактор у большинства волокон нерва заранее снижен до 1, что бывает при па-

рабиотизации, то дополнительное его снижение вызывает блокаду. Суммарный ответ нерва на сильный стимул при этом резко снижен.

Представляет интерес аналогичный эксперимент, проделанный нами на стволе, лишенном оболочки. Если с нервного ствола снять оболочку, то плотность упаковки пучка нервных волокон резко уменьшается, пучок как бы рассыпается и набирает жидкость из окружающего раствора. Ясно, что величина R_0 при этом падает. В этих условиях парадоксальное торможение от-

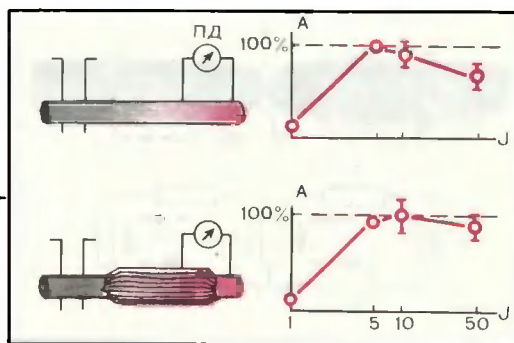


Электрические взаимоотношения двух пар волокон нерва [А и Б] и их эквивалентные схемы. В *в е р х у* — возбужден левый перехват одного волокна; его внешний ток протекает через все соседние проводящие образования. В *н и з у* — одновременно возбуждены левые перехваты обоих волокон; их внешние токи протекают лишь через прилегающие участки межволоконных щелей. Нарушение противоположения перехватов соседних волокон не изменяет существа их электрического взаимодействия.

вета нерва при усилении стимула гораздо слабее, чем на нерве с оболочками. Свойства же самих волокон после снятия оболочек ствола практически не изменяются. Эксперимент на «раздетом» нерве подтверждает, что парадокс Введенского определяется негативным взаимодействием электрических полей волокон нерва при их массовом возбуждении.

Мы с И. В. Кубасовым изучили реакции периферического конца одиночного волокна, проходящего в составе паработируемого седалищного нерва³. Нерв

был изменен в средней части, а раздражали начальный участок нервного ствола или его корешок, включающий начало регистрируемого волокна. При этом оказалось, что переход от раздражения корешка (с активацией малого количества соседних волокон) к раздражению ствола (с активацией большого количества соседних волокон) вызывает обратимую блокаду в регистрируемом волокне. Сила стимулов для данного волокна при этом может оставаться совершенно неизменной. И это понятно, ибо блокирующим фактором является не



Опыт на нерве лягушки, демонстрирующий парадоксальную реакцию на сильные одиночные стимулы (*с л е в а*) и регистрация потенциала действия (*с п р а в а*). Стимулируется левый конец нерва. Потенциал действия регистрируется на паработируемом участке. В *в е р х у* — нерв с сохраненными внешними оболочками. Зависимость амплитуды ПД от силы стимула имеет парадоксальный загиб книзу в районе сильных стимулов. В *н и з у* — нерв, лишенный оболочек в средней части. Парадоксальный загиб резко ослаблен. По оси абсцисс — сила стимулов в относительных единицах (логарифмическая шкала), по оси ординат — амплитуда потенциала действия нерва А в %.

сила стимулов, а негативное взаимодействие в массе волокон, т. е. не «перераздражение», как полагал Введенский, а «недораздражение» в участке паработозы.

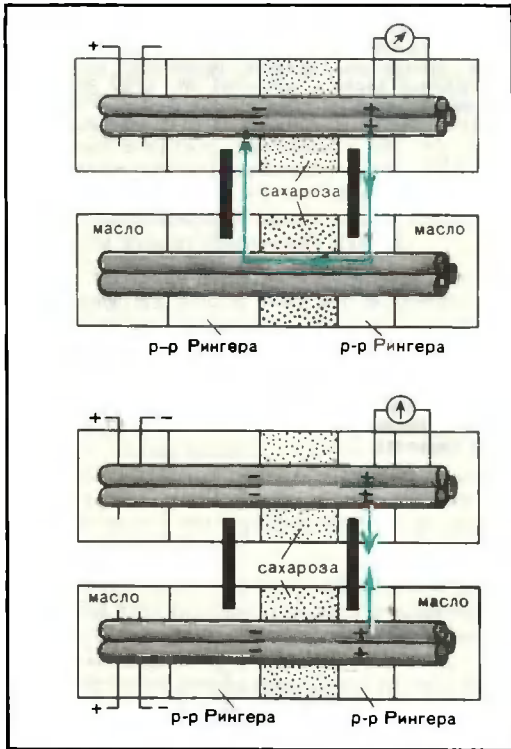
В опытах с В. Н. Новиковым мы получили наглядную модель парадокса Введенского⁴. Исследовалось взаимодействие двух «раздетых» седалищных нервов лягушки, каждый из которых в средней части (1—2 мм) омывался чистым раствором сахарозы, снижающим гарантийный фактор. Один из этих пучков моделировал волокна, иннервирующие мышцу — регистратор ответа

³ Кубасов И. В. — В кн.: Нейрон и межнейронная интеграция. Л., 1983, с. 147.

⁴ Матюшкин Д. П. — Вест. ЛГУ, 1981, № 21 с. 88.

нерва в опытах Введенского, другой — соседние волокна этого нерва. Пучки волокон лежали в разных ванночках и их электрическая связь создавалась с помощью металлических перемычек.

Рассмотрим случай, когда активируется первый пучок, но его гарантийный фактор настолько снижен, что возбуждение во многих его волокнах распространяется только при электрической связи со вторым пучком, пребывающим в покое; второй пучок используется первым для замыкания цепи токов. Эта ситуация соответствует



Модельный опыт на двух пучках нервных волокон, лишенных оболочек. Ванночки, в которых лежат пучки, разделены перегородками; средняя часть ванночки заполнена непроводящим раствором сахарозы, а боковые — физиологическим солевым раствором (p-p Рингера). Ванночки соединены между собой металлическими перемычками. Оба нервных пучка возбуждались импульсами длительностью 0,1 мс от автономных электронных стимуляторов. В первом случае (вверху) возбужден только один пучок, во втором (внизу) — синхронно возбуждены оба пучка.

опыту Введенского при слабом раздражении парабиотизированного нерва, когда возбужденные волокна составляют лишь часть общей массы и используют электропроводность всех межволоконных щелей и соседних волокон. Теперь посмотрим, что получается, если в этих же условиях одновременно с первым пучком возбуждается и второй (эта ситуация соответствует вовлечению в реакцию всей массы волокон при усилении стимулов в условиях Введенского). Распространение возбуждения в первом пучке (как и во втором, конечно) при этом затрудняется, поскольку первый пучок волокон в случае строго синхронной активации второго пучка не может его использовать в качестве элемента внешней электрической проводимости. Вхождение тока во второй пучок здесь мешает его встречный ток. Описанная блокада нервных импульсов обратима. Прекращение активации второго пучка восстанавливает распространение сигналов в первом.

Итак, парадокс Введенского объяснен. И теперь совершенно ясно, почему парадоксальная реакция нерва может наблюдаться при самых различных неблагоприятных воздействиях на него. Ведь все эти воздействия так или иначе могут снижать гарантийный фактор волокон, а значит, существенно увеличивать их негативное взаимодействие.

Парадокс Введенского, возникающий не только в эксперименте на измененном нерве, но и в патологически измененных нервных проводниках человека, теперь можно использовать как показатель снижения их гарантийного фактора, что может иметь практическое значение. Негативное взаимодействие (взаимное торможение) соседних волокон нерва при их синхронной активации, несомненно, интересно для нейрофизиологии. Оно, в конечном счете, отражает высокую плотность монтажа элементов нерва, необходимую для обеспечения многоканальной связи мозга с периферией. И, между прочим, совмещение в нервных стволах волокон, в которых импульсы распространяются с разными скоростями и в противоположных направлениях, по-видимому, оправдано не только конструктивно, но и тем, что оно снижает негативное взаимодействие импульсов в соседних волокнах, повышая тем самым надежность каналов связи.

Моделирование на ЭВМ радиационных дефектов и процессов в кристаллах

А. Н. Орлов, Ю. В. Трушин



Алексей Николаевич Орлов, доктор физико-математических наук, профессор, старший научный сотрудник Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе АН СССР. Круг научных интересов — теория дефектов в кристаллах, физика прочности и пластичности. Автор книг: Границы зерен в металлах. М., 1980 (совместно с В. Н. Перевезенцевым и В. В. Рыбиным); Энергии точечных дефектов в металлах. М., 1983 (совместно с Ю. В. Трушиным).



Юрий Владимирович Трушин, кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник того же института. Область научной работы — теория радиационных дефектов и процессов в кристаллах. Автор книг: Проблемы современной энергетики. Л., 1982; Энергии точечных дефектов в металлах.

Основу ядерной энергетики составляют ядерные реакции деления и синтеза. Продуктом этих реакций являются ядерные частицы: нейтроны, протоны, ядра гелия (α -частицы) и других элементов, которые разлетаются из зоны реакции с огромной скоростью. Их кинетическая энергия представляет собой энергетический выигрыш ядерной реакции и достигает миллионов электронвольт. Пока что единственным практически реализуемым способом использования этой энергии является ее превращение в тепло, которое затем обычным образом преобразуется в электрическую энергию.

Тепловая энергия вещества — это кинетическая энергия E_T тепловых колебаний его атомов. В расчете на один атом

при температуре 500°C она составляет в твердых телах и жидкостях около $0,1$ эВ. «Размен» кинетической энергии быстрых ядерных частиц на порции энергии тепловых колебаний атомов происходит при их многократных последовательных столкновениях. Вначале энергия, переданная при столкновении атомом вещества, значительно превышает E_T и ее хватает для выбивания атомов из узлов кристаллической решетки. Пороговая энергия E_d , достаточная для удаления атома из узла, равна, как показывают опыт и теоретические расчеты, нескольким десяткам электронвольт, так что атом, выбитый при первичном столкновении с ядерной частицей, обладающей энергией порядка 10^5 — 10^6 эВ, — первично выбитый

атом (ПВА) — может, в свою очередь, выбить несколько тысяч вторичных.

Большинство ядерных частиц заряжены, в результате чего их взаимодействие с ядрами атомов вещества оказывается значительным и приводит к частым столкновениям, так что длина пробега этих частиц до полной остановки не превышает нескольких микрометров (иными словами, почти все они поглощаются в материале ядерного топлива). Однако нейтроны, лишённые электрического заряда, взаимодействуют с ядрами только на расстояниях порядка 10^{-15} м. Для них твёрдое тело практически прозрачно, их пробеги могут достигать нескольких метров. При столкновениях с атомами материала, из которого изготовлены конструкции ядерного реактора и окружающая его защита, нейтроны передают им часть своей кинетической энергии, выбивают их из узлов кристаллической решетки и эти ПВА разменивают свою кинетическую энергию при последующих вторичных столкновениях по вышеупомянутой схеме.

Так возникает каскад атомных столкновений. На месте каждого выбитого атома остаётся вакансия, а заторможенные до энергии ниже E_d атомы каскада застревают между узлами решетки, образуя межузельные атомы. В результате появляются пары точечных дефектов «вакансия — межузельный атом» — так называемые френкелевские пары (по имени советского физика Я. И. Френкеля, который ввел эти представления в физику твёрдого тела).

При длительном облучении (срок службы конструкций ядерного реактора — несколько десятков лет) в материале накапливается много таких пар, и, хотя они частично рекомбинируют (о чем будет идти речь ниже) и превращаются в другие дефекты, это приводит к сильным изменениям прочности и других свойств материала. При проектировании ядерных реакторов эти изменения необходимо учитывать, а для этого требуется знать, как меняются свойства материалов под действием длительного облучения в условиях механических нагрузок и температур, характерных для работы ядерных установок.

Измерить на опыте такие изменения чрезвычайно трудно, а иногда попросту невозможно, поскольку еще нет соответствующих установок, например термоядерных реакторов. Поэтому прибегают к теоретическим расчетам воздействия излучения на материалы. Эти расчеты относятся не

только к процессам, протекающим в ядерных реакторах, но и к взаимодействию с веществом быстрых заряженных частиц, получаемых от радиоактивных источников, на ускорителях, при плазменном распылении металлов и т. д. Ввиду сложности происходящих при этом процессов и огромного числа участвующих в них атомов такие расчеты стали возможными только с появлением мощных ЭВМ. Они получили название машинного моделирования. В настоящей статье кратко изложены некоторые типичные результаты таких расчетов.

РАСЧЕТ ТРАЕКТОРИЙ АТОМОВ В КРИСТАЛЛЕ

Основу машинного моделирования радиационных дефектов в кристаллах составляет решение системы уравнений движения атомов кристалла при заданных начальных и граничных условиях. Начальное условие состоит, например, в том, что в момент времени $t=0$ все атомы, кроме одного, считаются покоящимися в узлах кристаллической решетки, а один — движущимся с заданной скоростью $V_k = dr_k/dt$. В силу ограниченных возможностей ЭВМ в расчете рассматривается участок кристалла (расчетная ячейка), содержащий несколько тысяч атомов, например куб с длиной ребра в 10 постоянных решеток, обладающей гранцентрированной кубической (ГЦК) структурой.

Хотя движение атомных частиц подчиняется законам квантовой механики, при характерных значениях энергии ПВА порядка 10^2 — 10^4 эВ движение атомов каскада и вызванные ими колебания атомов кристаллической решетки описываются с достаточной для практических нужд точностью уравнениями классической механики:

$$m_k d^2 r_k / dt^2 = -\partial U_k(r_1, \dots, r_N) / \partial r_k, \quad (1)$$

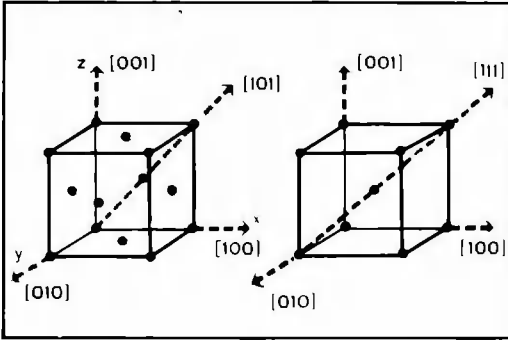
где $k = 1, 2, \dots, N$.

Здесь m_k — масса k -го атома, r_k — его координата, U_k — потенциальная энергия взаимодействия k -го атома со всеми остальными, N — число атомов в расчетной ячейке.

Поскольку функция U_k неизвестна, часто принимают, что ее можно представить в виде суммы энергий парных взаимодействий U_{kj} атома k с каждым из окружающих ($j=1, 2, \dots, N; j \neq k$), причем U_{kj} считается зависящей только от расстояния $r_{kj} = |r_k - r_j|$ между атомами (центральное взаимодействие). Вид межатомного по-

тенциала U_{kj} (в дальнейшем индексы иногда будут опускаться) можно приближенно вычислить методами квантовой механической теории твердого тела. На практике, однако, обычно пользуются различными эмпирическими выражениями, параметры которых подбирают так, чтобы выражение для суммарной энергии взаимодействия всех N атомов расчетной ячейки кристалла (в расчете на один атом)

$$U_0 = \frac{1}{2N} \sum_{\substack{k,j=1 \\ (k \neq j)}}^N U_{kj}(r_{kj} = r_{kj}^0)$$



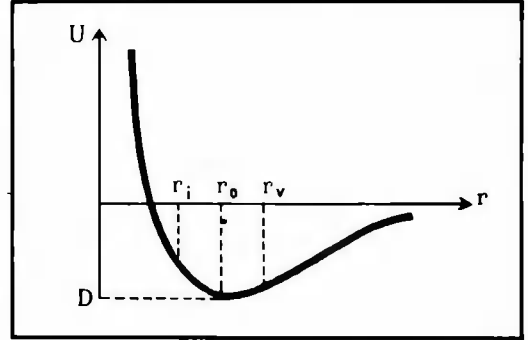
Типы элементарных ячеек кристаллических решеток. Слева — гранецентрированная кубическая (ГЦК); в ней регулярные атомы кристаллической решетки (точки) расположены в вершинах и центрах грани куба. Справа — объемноцентрированная кубическая (ОЦК), в которой атомы помещены в вершины и центр куба. Цифры в скобках [индексы Миллера] выделяют направления наиболее плотной упаковки атомов.

совпадало с измеренной энергией, приходящейся на один атом кристалла, а равновесные межатомные расстояния r_{kj}^0 соответствовали значению постоянной решетки a_0 .

Предполагая функцию U известной, систему уравнений (1) можно решать на ЭВМ приближенными численными методами. Для этого, как известно, необходимо дифференциальные уравнения (1) преобразовать в уравнения в конечных разностях, выбрать шаг интегрирования Δt и по заданным положениям и скоростям атомов в момент $t=0$ находить приращения координат Δr_k и скоростей ΔV_k в моменты Δt , $2\Delta t$ и т. д.

При достаточно мелком шаге Δt решение системы уравнений в конечных разностях с заданной точностью совпадает с решением системы дифференциальных

уравнений. Эта точность тем выше, чем мельче шаг. Однако уменьшение шага увеличивает время, необходимое для решения задачи. Кроме того, при численных расчетах имеются свои специфические источники ошибок. Так, например, ошибка, допущенная на первом шаге при вычислении $g(\Delta t)$, накапливается, ибо она войдет в значения $g(p \cdot \Delta t)$ во все последующие моменты времени. Возникают также ошибки из-за округления, поскольку машина производит вычисления с конечным числом значащих цифр. Из физических соображе-



Зависимость энергии U межатомного взаимодействия от расстояния r между атомами [r_0 — равновесное межатомное расстояние, D — энергия связи атомов]. Увеличение r при растяжении решетки вблизи вакансии [$r=r_i$] и уменьшение r при ее сжатии вблизи межузлия [$r=r_v$] связано с повышением энергии U .

ний ясно, что шаг должен быть меньше периода собственных (тепловых) колебаний атомов кристалла $\tau_0 \sim 10^{-13}$ с. С учетом всего сказанного шаг выбирают обычно порядка $\tau_0/50$.

Метод описания движения атомов в расчетной ячейке путем численного решения системы (1) получил название метода молекулярной динамики. Типичные задачи, решаемые с его помощью, рассмотрены ниже. Для нахождения равновесных атомных конфигураций дефектов необходимо в уравнения движения (1) ввести фиктивную силу трения, которая уменьшает скорость атомов до тех пор, пока они не останавливаются в положениях с минимальной потенциальной энергией. Эти положения и отвечают искомой равновесной конфигурации. Для ее нахождения обычно достаточно 20—30 временных шагов.

АТОМНЫЕ КОНФИГУРАЦИИ ПРОСТЫХ ДЕФЕКТОВ

Рассмотрим сначала равновесные конфигурации простейших точечных дефектов, возникающих в кристаллах при облучении быстрыми частицами¹. К ним относятся одиночные вакансии и комплексы, содержащие несколько вакансий или вакансию и примесный атом, а также межузельные атомы и их комплексы. Строго говоря, примесные атомы в основной кристаллической решетке, называемой матрицей, также являются точечными дефектами. Если примесные атомы распределены в матрице случайно, система называется твердым раствором. Примесные атомы в нем могут замещать атомы матрицы в узлах кристаллической решетки (твердый раствор замещения) либо, если их малые размеры это допускают, располагаться в межузлиях (твердый раствор внедрения). Некоторые примесные атомы малых размеров, в частности H, He, C, N, O, могут захватываться вакансиями матрицы, становясь по существу примесями замещения.

Вакансии. Расчеты показывают, что после удаления атома из узла решетки не происходит сколько-нибудь заметного заполнения образовавшейся полости в результате сдвига окружающих атомов (пустоту атомного размера природа терпит). Так, в металлах с ГЦК-решеткой каждый из 12 ближайших к вакантному узлу атомов оказывается смещенным в сторону вакансии всего на 3—5% от межатомного расстояния r_0 в бездефектном кристалле. В ионных же кристаллах, например в NaCl, отсутствие в вакантном узле заряда приводит к удалению соседних (одноименных) ионов от вакансии.

Поскольку межатомные расстояния r_v вокруг вакансии отличаются от равновесного r_0 , энергия всех межатомных связей вблизи вакансии выше, чем в бездефектной решетке. Расчеты показывают (а экспериментально проведенные измерения подтверждают), что энергия образования вакансии E_{1v} , равная разности энергий кристалла с вакансией и бездефектного кристалла из такого же числа атомов, составляет в металлах около 1 эВ.

Два соседних вакантных узла образуют парную вакансию (бивакансию). Ее энергия меньше, чем энергия двух одиночных вакансий, ибо для создания двух одиночных вакансий в ГЦК-решетке необходимо разорвать $2 \times 12 = 24$ связи удаляемых атомов с их ближайшими соседями, а для образования парной вакансии — только 23 связи. Поэтому объединение вакансий в пары энергетически выгодно. Объединению же всех вакансий в пары в условиях термодинамическо-

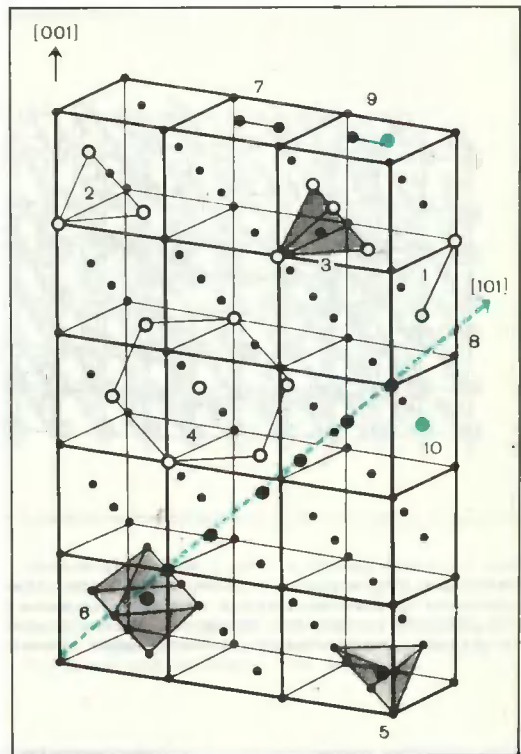


Схема основных точечных дефектов в ГЦК-решетке: 1 — бивакансия; 2 — плоская тривакансия; 3 — тетраэдрическая тривакансия [в центре тетраэдра из четырех вакансий располагается атом; если его сместить в одну из вершин тетраэдра, получится плоская тривакансия]; 4 — комплекс из семи вакансий; 5 — тетраэдрическое межузлие; 6 — октаэдрическое межузлие; 7 — гантель ориентации [100]; 8 — краудион ориентации [101]; 9 — смешанная гантель, состоящая из атома матрицы и примеси внедрения; 10 — примесный атом замещения [точки — регулярные атомы кристаллической решетки; светлые кружки — вакансии; черные кружки — собственные атомы в межузлиях и в составе гантелей и краудиона; цветные кружки — примесные атомы].

¹ Как указано выше, энергия кристалла с дефектом при этом определяется автоматически как значение U_0 на последнем шаге интегрирования.

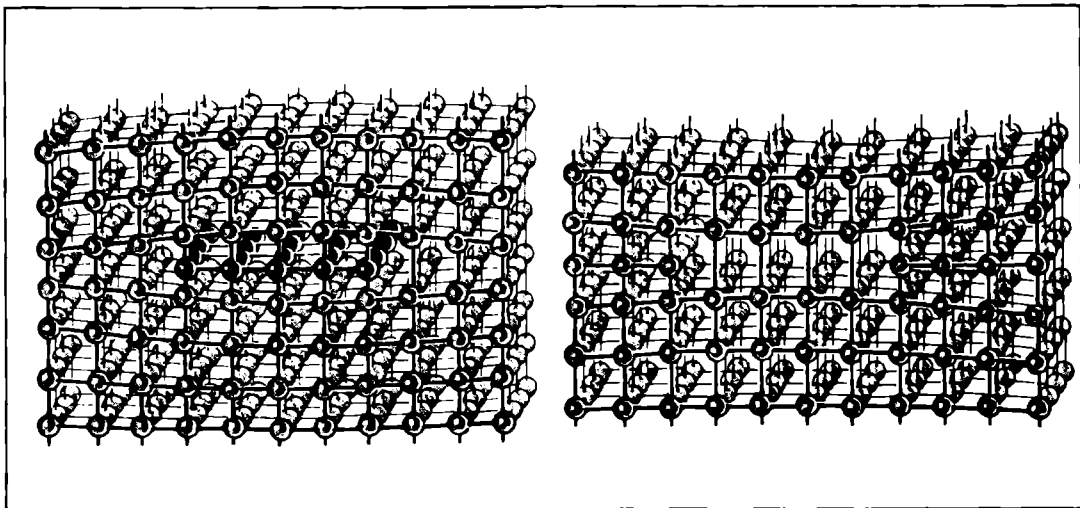
го равновесия препятствует связанное с этим понижение энтропии кристалла².

Были рассчитаны также конфигурации и энергии комплексов из трех и большего числа вакансий. Мерой прочности связи вакансий в комплексе служит энергия связи E_{nv}^b , равная разности энергий n одиночных вакансий и энергии E_{nv} комплекса из n вакансий. Энергия E_{2v}^b связи парной вакансии составляет обычно несколько десятых эВ.

Возникающим при интенсивном облучении многочисленным избыточным (сверх

(наименьшим средним межатомным расстоянием). Под действием силы межатомного притяжения противоположные края плоского комплекса, образующегося в форме диска, сближаются, так что зазор между ними уменьшается до величины, близкой к нормальному межатомному расстоянию, и по периметру «схлопнувшегося» диска возникает так называемая вакансионная дислокационная петля³.

Вакансии могут связываться не только между собой, но и с атомами примесей,



Атомные конфигурации плоских скоплений межатомных атомов (слева) и вакансий (справа). На рисунках изображены поперечные сечения межатомной и вакансионной дислокационных петель.

термодинамически равновесной концентрации) вакансиям энергетически выгодно объединяться в крупные плоские либо объемные комплексы. Объемные комплексы вакансий называются также порами. Примером плоского комплекса может служить скопление из 7 вакансий в тех кристаллографических плоскостях ГЦК-решетки, которые отличаются плотной упаковкой

всегда присутствующими даже в хорошо очищенных металлах. Энергия связи вакансии с примесным атомом замещения обычно не больше 0,1 эВ. Это означает, что под действием тепловых флуктуаций, энергия которых при комнатных температурах — того же порядка, подобные пары легко распадаются. Тем не менее они играют заметную роль в диффузионных процессах, происходящих в твердых растворах под облучением, поскольку обладают большой подвижностью. Ведь вакансия, в которую в элементарном акте диффузии должен перейти примесный атом, находится почти всегда рядом с ним.

Примеси внедрения также взаимодействуют с вакансиями. Особый интерес для радиационной физики металлов пред-

² Хотя образование вакансии требует затраты энергии E_{1v} , вакансии всегда присутствуют в кристалле, ибо термодинамическое равновесие определяется минимумом не энергии системы E , а ее свободной энергии $F = E - TS$. Здесь S — энтропия, которая возрастает с числом вакансий, поскольку при этом увеличивается число возможных способов их размещения по узлам решетки.

³ Более подробно об этих эффектах и о самих дислокациях в кристаллической решетке можно прочесть в статье: Инденбом В. Л., Никитенко В. И., Струнин Б. М. Теория дислокаций и дислокационная физика. — Природа, 1974, № 4, с. 74; № 6, с. 82.

ставляет гелий, так как он образуется во многих ядерных реакциях с участием нейтронов и накапливается в реакторных материалах. Из расчетов следует, что гелий в виде примеси внедрения интенсивно захватывается вакансиями. Более того, в объемноцентрированной кубической (ОЦК) решетке железа, например, одна вакансия способна захватить до 10 атомов He, а несколько атомов He, находящихся в межузлиях, могут вытеснить атом матрицы из его узла и занять его место.

Межузельные атомы. Атомные конфигурации межузлий отличаются значительно большим разнообразием. В металлах с ГЦК и гексагональной кристаллическими решетками (отличающимися наиболее плотной упаковкой) существует два типа межузлий, которые в соответствии с симметрией окружающих атомов называются тетраэдрическими и октаэдрическими. Вокруг межузельных атомов межатомные расстояния r_1 меньше равновесных r_0 , а энергия этих связей в силу зависимости $U(r)$ заметно выше, чем вокруг вакансий, где $r_v > r_0$. Поэтому энергия межузельного атома в любой конфигурации значительно больше энергии вакансии и составляет 3—6 эВ.

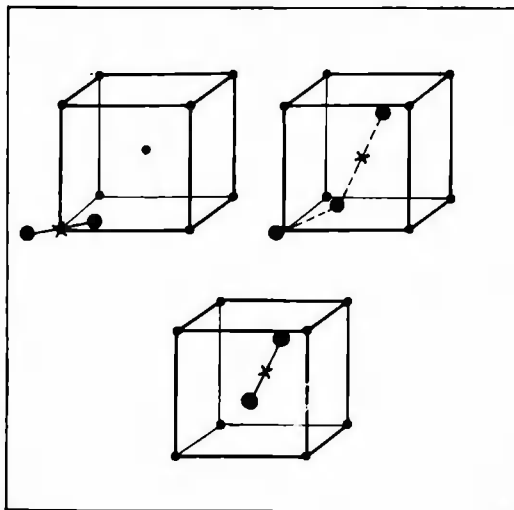
Симметричные расположения атомов в межузлиях, вызывающие радиальные смещения их соседей, типичны только для примесных атомов внедрения малого размера. Собственные межузельные атомы в металлах образуют другие конфигурации — гантели и краудионы. Гантель возникает, когда межузлие вытесняет один соседний атом из его узла и образует с ним пару с центром тяжести в освободившемся узле. Ось гантели направлена в ГЦК-металлах вдоль одного из ребер куба, в ОЦК-металлах — вдоль диагонали грани куба. В твердых растворах (как внедрения, так и замещения) партнером в гантели может также быть примесный атом. Если в растворе замещения рядом с собственной гантелью оказывается примесный атом, он может быть вытеснен в межузлие одним из атомов гантели.

Вторая конфигурация, образемая межузлиями, — статический краудион. Это участок из нескольких атомов плотно упакованного ряда, в котором на один атом больше, чем узлов решетки (например, 6 атомов на 5 узлов). В ГЦК-решетке краудион ориентирован преимущественно вдоль диагонали грани элементарной ячейки, а в ОЦК-решетке — вдоль пространственной диагонали куба. Если межузельному атому сообщить импульс в на-

правлении оси краудиона, статический краудион, перемещаясь, превращается в динамический.

Элементарный акт миграции гантели состоит в вытеснении одного из соседних атомов из его узла и образовании новой гантели с участием одного атома старой гантели. Другой атом старой гантели занимает при этом освободившийся узел решетки. В результате возникает гантель другой ориентации.

Конфигурация, в которой гантель отстоит от вакансии на расстояния, не пре-



Последовательные стадии миграции гантели в ОЦК-решетке (точки — регулярные атомы решетки; черные кружки — межузельные атомы; крестиком выделен центр тяжести гантели; пунктирными линиями соединены взаимодействующие атомы, участвующие в элементарном акте миграции).

вышающие 2—4 межатомных, неустойчива. В этом случае гантель и вакансия самопроизвольно сближаются, пока межузельный атом не займет вакантный узел, что приводит к рекомбинации френкелевской пары.

Наряду с одиночными конфигурациями возможно образование плоских скоплений межузлий, ограниченных по периметру межузельными дислокационными петлями.

Все перечисленные и многие другие результаты моделирования точечных дефектов и их комплексов находятся в согласии с данными прямых наблюдений и измерений свойств таких дефектов в реальных кристаллах.

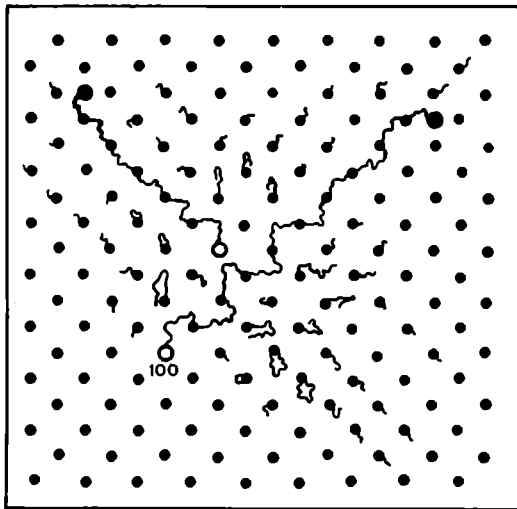
ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ПРОЦЕССЫ РАДИАЦИОННОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ

В результате каскада атомных столкновений вблизи от места появления ПВА возникает много избыточных вакансий, а вдали от него — большое число «лишних» атомов в межузельных конфигурациях. Таким образом, при взаимодействии продуктов ядерных реакций с кристаллами в кристаллической решетке образуется неоднородная по структуре область: центральная часть ее бедна атомами вещества и называется соответственно обедненной зоной, а на периферии скапливаются межузельные атомы (обогащенная зона). Обедненные зоны в дальнейшем могут превратиться в поры или в вакансионные дислокационные петли, которые в больших количествах возникают при облучении кристаллов быстрыми частицами и могут наблюдаться с помощью электронных и атомных микроскопов.

Для моделирования на ЭВМ радиационного повреждения кристаллов метод молекулярной динамики был успешно применен рядом исследователей⁴. В качестве начальных условий при решении уравнений (1) в расчетах такого типа задаются величина и направление скорости ПВА, в то время как все остальные атомы считаются покоящимися в своих узлах. Решая уравнения движения для ПВА и остальных атомов, находят их траектории.

К настоящему времени осуществлено моделирование большого количества каскадов с энергиями ПВА от 50 эВ до 100 кэВ. В частности, в Физико-техническом институте АН УССР составлена целая «библиотека» каскадов для энергий ПВА от 50 до 350 эВ и различных углов их вылета по отношению к кристаллографическим осям ГЦК-решетки никеля — основы многих реакторных сплавов. Используя эти данные при моделировании каскадов с большей энергией, удалось установить закономерности распределения точечных дефектов в зависимости от энергии и направления движения ПВА. Оказалось, на-

пример, что передача энергии и импульса в каскадах может происходить на довольно большие расстояния вдоль направлений плотной упаковки атомов в кристаллической решетке. При этом возникают динамические краудионы или, иначе говоря, цепочки замещений, в которых каждый атом замещает соседний в узле решетки. В начале такой цепочки образуется вакансия, а в конце — на расстоянии в несколько постоянных решетки от нее — возникает межузельный атом. Такие цепочки замещений являются наиболее важ-



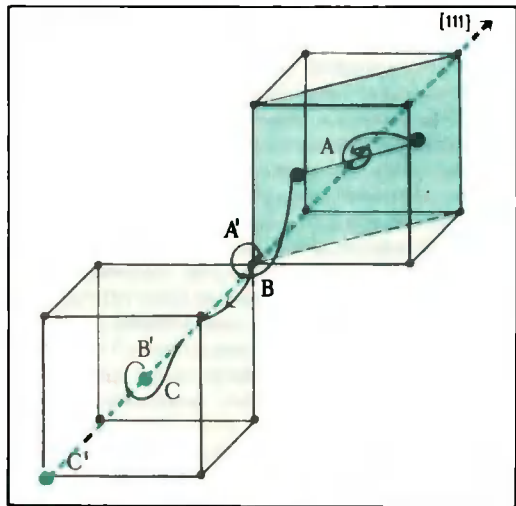
Структура каскада атомных столкновений в меди при 0 К от первично выбитого атома, направленного под углом 10° к направлению $[110]$. Показаны рассчитанные на ЭВМ траектории движения атома каскада (светлые кружки — вакансии; черные кружки — межузельные атомы; число 100 возле места появления первично выбитого атома указывает его энергию в электронвольтах).

ным механизмом пространственного разделения межузельных атомов и вакансий, которое приводит к созданию в центральной области каскада обедненной зоны, окруженной «шубой» из межузельных атомов. Анализ большого числа смоделированных каскадов показал, что при малых энергиях ПВА межузельные атомы концентрируются преимущественно в направлениях плотно упакованных рядов, а с ростом энергии эта анизотропия их распределения сглаживается.

Интересный эффект «фокусировки» имеет место при распространении динамического краудиона вдоль направлений

⁴ Gibson J. B., Goland A. N., Milgram H., Vineyard G. H. — Phys. Rev., 1960, v. 120, p. 1229 (в переводе см.: Успехи физ. наук, 1961, т. 74, с. 435); Erginsoy S., Vineyard G. H., Englert A. — Phys. Rev., 1964, v. 133A, p. 595; Агранович В. М., Кирсанов В. В. — Успехи физ. наук, 1976, т. 117, с. 1; Гани В. В. и др. — Вопр. атом. науки и техн., сер. «Физика рад. поврежд. и рад. материаловед.», 1980, т. 1, № 12, с. 49.

[111] и [100] в ОЦК-решетке. Ясно, что движущимся в этих направлениях атомам приходится взаимодействовать также с атомами других рядов, которые окружают выделенные направления. В силу симметрии кристалла, на одном межатомном расстоянии, например вдоль направления [111], движущийся атом проходит мимо шести таких атомов, расположенных в виде двух колец (по 3 атома в каждом) в плоскостях, перпендикулярных выбранному направлению. Двигаясь вдоль направления [100], атом должен пройти через одно кольцо

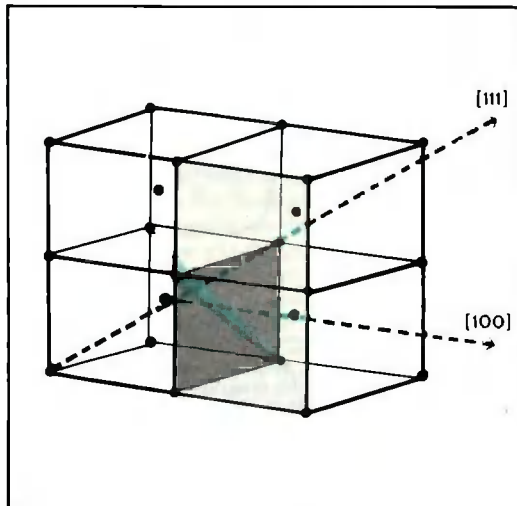


Результат моделирования на ЭВМ процесса замещений в ОЦК-решетке железа. Собственный межузельный атом гелия вытесняет атом гелия, находящийся на месте третьего соседа в плотно упакованном ряду [111] по отношению к центру гонтели (A и A' — начальное и конечное положения атома гонтели, B и B' — атома в цепочке замещений, C и C' — атома гелия).

из четырех атомов окружения. Эти кольца получили (и не без основания) название «линз», которое сейчас станет ясным. Конечно, проходя через такую линзу, т. е. раздвигая атомы окружения, движущийся атом каждый раз затрачивает определенную энергию (в первом случае около 1 эВ, во втором — до 5—6 эВ), однако она ему частично возвращается. Дело в том, что кольцо, пропустив атом, вновь стягивается и сообщает ему при этом дополнительный импульс. Подобно свету, проходящему через оптическую линзу, движущийся атом, взаимодействуя с атомами очередного кольца, «прижимается» к на-

правлению плотной упаковки, так что его импульс почти не меняется по величине и направлению. Малые потери энергии атомами, перемещающимися вдоль направления [111], способствуют передаче импульса и массы на большие расстояния в кристалле. В направлении [100] длина цепочек соударений несколько короче.

Изучение каскадов методом молекулярной динамики требует большого машинного времени, особенно при энергиях ПВА выше 1 кэВ. В этих случаях часто используют более простую модель бинар-

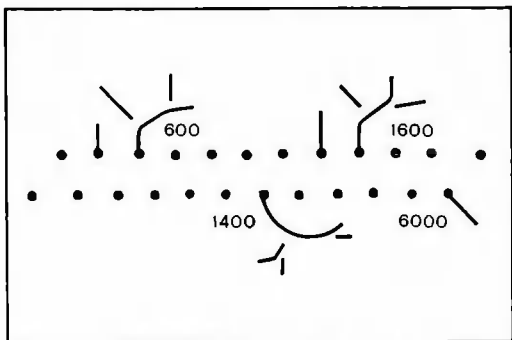


Два направления распространения цепочек атомных соударений в ОЦК-решетке (пунктир) и линзоподобные барьеры (выделены цветом).

ных соударений Билера⁵, в которой рассчитывается рассеяние движущегося атома только на одном (ближайшем в данный момент) атоме кристалла, причем вероятность рассеяния полагается тем меньшей, чем больше энергия подвижного атома. В результате в каждом акте взаимодействия образуются два разлетающихся атома и вакансия на месте смещенного. Поскольку энергия налетающего атома распределяется между двумя атомами — смещенным (который до столкновения покоил-

⁵ Beeler J. R. (Jr.), Besco D. G.— J. Appl. Phys., 1963, v. 43, p. 2873.

ся) и рассеянным (который до столкновения был налетающим), — длина пробега каждого из них до следующего акта рассеяния уменьшается по мере размена энергии. Благодаря этому на заключительной стадии развития каскада дефекты образуются на все более близких расстояниях. Методом парных столкновений исследованы каскады с энергией ПВА до 100 кэВ и подтверждено образование обедненных зон при таких энергиях. Впоследствии обедненные зоны наблюдали на опыте с помощью автономного микроскопа⁶.



Результат расчета на ЭВМ траекторий движения атомов никеля с начальной энергией 10,8 кэВ, которое приводит к эффекту разрушающего каналирования. Числа соответствуют энергиям (в электронвольтах), передаваемым каналом стенкам канала.

Неожиданным результатом моделирования на ЭВМ облучения кристаллов быстрыми ионами (полученным впервые для меди) оказалось наличие длинного «хвоста» в распределении междузельных атомов по глубине проникновения в кристалл вплоть до 0,5 мкм⁷. Примерно одна траектория из каждых 10 000 была особенно длинной и прямой. ЭВМ не хватало памяти, чтобы проследить такие траектории до конца. Выяснилось, что они возникают, когда быстрый атом движется в направлении, близком к одному из направлений плотной упаковки, но перемещается между рядами атомов — по «каналу». Такое ориентированное движение быстрых атомов или ионов в кристаллах было названо каналированием⁸. Частица удерживается

в канале за счет последовательных скользящих столкновений с атомами, образующими его стенки. Атом, движущийся в канале (каналон), тормозится медленно и может проходить большие расстояния в кристалле. Поэтому междузельные атомы, образовавшиеся при остановке каналонов, весьма удалены от своих вакансий. Этот эффект усиливает разделение в пространстве вакансий и междузельных, возникающих при радиационном воздействии на кристаллы.

При взаимодействии каналона с атомами стенки канала он может передать им энергию, достаточную для создания вторичных радиационных дефектов, т. е. небольших каскадов, распространяющихся в направлениях, перпендикулярных направлению движения каналона. Такой эффект был обнаружен при моделировании движения ионов никеля в кристалле никеля вдоль направления [100] при начальной энергии ионов от 3 до 11 кэВ и получил название разрушающего каналирования, поскольку при этом происходило частичное разрушение структуры кристалла около канала⁹. Пробег каналонов в этом случае, конечно, меньше, чем без разрушающего действия. Например, для энергии 10,8 кэВ пробеги соответственно равны 15 и 40 нм.

НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ РАДИАЦИОННОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Машинное моделирование оказывает большую помощь в решении задач радиационного материаловедения. Одной из важных задач этой области физической науки является борьба с «радиационным распуханием» — увеличением размеров тел под облучением. Причина такого распухания в преимущественном (по сравнению с вакансиями) поглощении междузельных атомов на дислокациях. Междузельные дислокационные петли благодаря этому увеличиваются, а вакансионные сокращаются. Оба процесса приводят к распуханию кристалла. Оставшиеся без партнеров вакансии объединяются в поры. Поскольку этот эффект разностный (основан на различии атомных механизмов поглощения вакансий и междузельных атомов на дислокациях), его величина существенно зависит от тонких деталей этих механизмов.

⁶ Суворов А. Л. Видимый мир атомов. — Природа, 1975, № 2, с. 2.

⁷ Robinson M. T., Oen O. S. — Phys. Rev., 1963, v. 132, p. 2385.

⁸ Калашников Н. П. Каналирование и электромагнитное излучение каналированных частиц. — Природа, 1981, № 3, с. 91.

⁹ Гани В. В., Рожков В. Б. — Вопр. атомн. науки и техн., сер. «Физика рад. поврежд. и рад. материаловед.», 1981, т. 2, № 16, с. 37.

На поглощение межузлий дислокациями можно воздействовать путем легирования, т. е. введения в металл различных примесей, которые осаждаются на дислокациях и по-разному взаимодействуют с перемещающимися по кристаллу вакансиями и межузельными атомами. Способ воздействия на рост пор — также с помощью легирования — основан на том, что примеси избирательно взаимодействуют с поверхностью поры. Как правило, они притягиваются к ней и создают вокруг поры обогащенную примесью «шубу», через которую вакансии проникают с трудом. Тем самым рост пор замедляется и ускоряется аннигиляция френкелевских пар в объеме кристалла, поскольку не найдшие выхода в пору вакансии дольше блуждают по кристаллу и межузельные атомы имеют больше шансов их встретить.

Другая серьезная проблема радиационного материаловедения — изучение распределения по глубине облучаемого образца падающих извне быстрых частиц. Эта проблема возникает, во-первых, при выборе материалов для внутренней стенки термоядерного реактора, которая подвергается интенсивному облучению быстрыми частицами плазмы. Второй важный аспект проблемы — создание материалов (главным образом, полупроводниковых) с заданными свойствами путем ионного легирования. При моделировании этих задач рассматривают падающие частицы, которые рождаются в приповерхностных слоях материала ПВА. Радиационные каскады, порожденные этими атомами, рассчитываются на ЭВМ.

В заключение следует отметить, что положенное в основу большинства расчетов описание межатомного взаимодействия с помощью простых парных потенциалов $U(r)$ является приближенным и не учитывает всего многообразия свойств атомных систем. Например, рассмотренный выше потенциал $U(r)$ не зависит от ориентации магнитных моментов атомов и поэтому не может служить для описания их магнитных свойств. Как показывает сопоставление результатов расчетов на ЭВМ структур возникающих дефектов с экспериментальными данными, принятое приближенное описание межатомных взаимодействий во многих случаях удовлетворительно, а там, где имеются расхождения (например, в абсолютных значениях энергии дефектов), их причину можно указать и в большинстве случаев устранить, применяя более совершенные (хотя и более сложные) межатомные потенциалы. Однако при

экстраполяции результатов машинного моделирования на условия, которые в настоящее время на опыте недостижимы, требуется известная осторожность. Необходимо проводить расчеты с несколькими потенциалами и каждый раз выяснять физические причины возможных расхождений. Что касается современных возможностей ЭВМ, то они позволяют рассчитывать траектории атомов в областях кристалла, содержащих десятки тысяч атомов.

В значительной мере благодаря успехам машинного моделирования к настоящему времени в физике твердого тела сложились четкие представления об атомной структуре большинства радиационных дефектов и о механизмах ее перестройки в ГЦК, ОЦК и других простых кристаллах. Некоторые эффекты были сначала открыты при машинном моделировании, а затем уже подтверждены на опыте. Задачей дальнейших исследований является распространение расчетов на более сложные кристаллические структуры: твердые растворы, интерметаллические соединения, а также на неметаллические кристаллы, которые в этой статье не рассматривались. Следующим этапом работы должны быть расчеты влияния дефектов на механические и другие физические свойства материалов. Для решения этих задач требуется существенно увеличить размер расчетной ячейки, что становится возможным по мере роста быстродействия ЭВМ.

Успехи вычислительной техники позволяют полагать, что не за горами то время, когда можно будет на голографическом дисплее наблюдать за рассчитываемым движением атомов в трехмерной модели кристалла размером в десятки нанометров, который построен из атомов заданных сортов, содержит заданные дефекты и подвергнут облучению потоком частиц с заданными характеристиками, а также иному внешнему воздействию (механической нагрузке, высокой температуре и т. д.). «Проиграв» таким образом поведение различных материалов в разных условиях и сократив тем самым во много раз расходы и время на изготовление и экспериментальное исследование тысяч образцов (не говоря уже о натуральных испытаниях дорогостоящих изделий), можно выбрать те материалы, которые наилучшим образом удовлетворяют предъявляемым требованиям, и на них проводить заключительную стадию разработки, получая огромную экономию времени, сил и средств.

Полиплоидный чай

И. С. Капанадзе,
доктор биологических наук

И. Г. Керкадзе,
кандидат биологических наук

Сухумский филиал Всесоюзного научно-исследовательского института чая и субтропических культур

Чайеводство — важная отрасль сельского хозяйства субтропической зоны нашей страны. Под культурой чая сейчас занято 78 тыс. га, из них в Грузии — 67, в Азербайджане — 9,3 и в Краснодарском крае — 1,7 тыс. га. Средняя урожайность чайных плантаций составляет 67 ц с га и по подсчетам должна еще увеличиться в 1,5 раза за счет внедрения прогрессивной агротехники и перевода чайной промышленности на новый высокоурожайный сорт «колхида». Несмотря на это, потребность в чайной продукции за счет отечественного чайеводства все-таки полностью не будет удовлетворена. Поэтому ведутся поиски новых эффективных методов повышения урожайности чая, и мы считаем, что эту проблему сейчас можно решить при помощи полиплоидии (увеличение диплоидного числа хромосом за счет добавления целых хромосомных наборов). Известно, что полиплоидные формы чая могут возникать самопроизвольно и эту естественную склонность можно усилить, воздействуя различными мутагенными факторами на растения исходной диплоидной формы¹.



Ветки китайского чая сорта «Кимья» одинакового возраста: триплоидного (слева) и диплоидного.

До недавнего времени полиплоидные формы чая почти не использовались в отечественном чайеводстве, и только в 1970-х годах начаты планомерные работы по экспериментальной полиплоидии чая и изучению его естественных поли-

¹ Лапин В. К. — Доклады АН СССР, 1948, т. 50, № 1, с. 141.

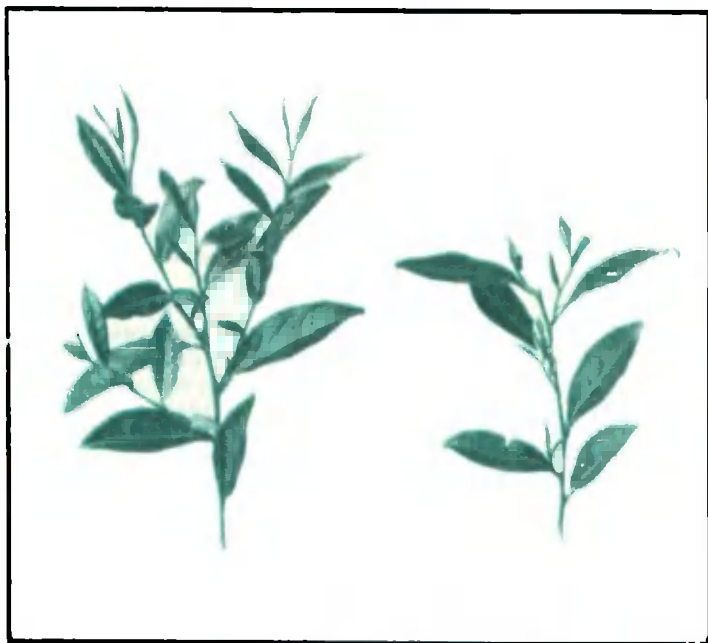
плоидов во Всесоюзном научно-исследовательском институте чая и субтропических культур (г. Махарадзе).

В 1977 г. мы обследовали расположенную неподалеку от Нового Афона 27-летнюю плантацию китайского чая сорта «кимынь» в поисках природных

продукцию), большая вегетативная масса, обильное цветение и малосемянность — ценные признаки для листопадной культуры. Пока мы выращиваем полиплоидные формы только на опытных делянках, и, очевидно, они не так скоро станут промышленной сельскохо-

мутагенных факторов мы получили тетраплоидные формы распространенных в Грузии разновидностей чая: японского, индийского, китайского, цейлонского и крупнолистного².

Как выяснилось при изучении экспериментально полученных полиплоидных форм



Гербарные экземпляры этого же сорта чая: тетраплоидного (слева) и диплоидного.

полиплоидов. Среди 40 тыс. растений мы легко обнаружили 23 куста полиплоидной формы чая, так как более темным цветом листьев и крупными размерами куста они резко выделяются на фоне обычных растений. Судя по кариологическому (хромосомному) анализу, из 23 растений 2 оказались тетраплоидными и 21 — триплоидными. Морфологически они были почти неразличимы, но урожайность триплоидного чая (по трехлетним подсчетам) оказалась в 1,5 раза выше, чем тетраплоидного.

Морфологические особенности обнаруженных полиплоидных форм чая — крупные листья, свободно ломающиеся флешы (верхняя часть побега, состоящая из верхушечной почки и 2—3 молодых листьев, которые и составляют чайную

зайственной культурой. Однако уже сейчас ясно, что полиплоиды ценны не только сами по себе, они могут служить основой для селекции, создания новых высокоурожайных, высококачественных и морозоустойчивых сортов. И без специальной селекции естественные полиплоидные формы дают урожай в 1,5—3 раза выше, чем их диплоидные аналоги. Так, средняя урожайность 27-летнего куста триплоидного сорта «кимынь» составила 1,45 кг, тетраплоидного — 0,91 кг, а диплоидного — 0,505 кг (для определения урожайности собирали двух-трехлистные флешы). Единственный недостаток полиплоидов — рыхлая сердцевина, из-за которой их сильнее, чем обычные чайные кусты, поражает чайная моль.

С помощью различных

чая, некоторые из них отличаются от природных полиплоидов.

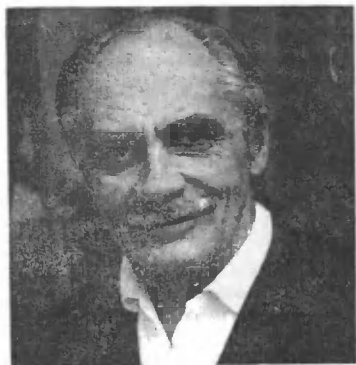
Основываясь на изучении выведенных полиплоидных форм, мы считаем, что именно полиплоиды должны стать источником для получения высокоурожайных и качественных сортов чая в нашей стране. Кстати, в Японии, например, триплоидный чай уже возделывается в промышленных масштабах, а высокоурожайный сорт чая, широко распространенный в Кампучии, тоже оказался триплоидным³.

² Капанадзе И. С., Керкадзе И. Г. — Известия АН ГрузССР, 1980, т. 6, № 5; с. 119.

³ Ve z b a r u a h H. P. — Exp. Agri., 1975, v. 11, № 1, p. 17.

Системная логика дарвинизма

А. А. Малиновский



Александр Александрович Малиновский, доктор биологических наук, профессор кафедры генетики 2-го Московского медицинского института им. Н. И. Пирогова, старший научный сотрудник Всесоюзного научно-исследовательского института системных исследований АН СССР и Государственного Комитета по науке и технике. Основная область научных интересов — теория биологических систем и проблемы теоретической биологии.

Первой строго научной обобщающей и всеохватывающей теорией в биологии была теория Ч. Дарвина. Раньше возникшее представление о клеточном строении организмов носило скорее эмпирический характер. Напротив, теория естественного отбора была результатом не только и не столько новых наблюдений, сколько замечательного сопоставления ряда давно известных биологических факторов и явлений: изменчивости, наследственности и геометрической прогрессии размножения, как это точно формулирует на последних страницах «Происхождения видов» сам Дарвин.

В настоящее же время мы видим, что открытая Дарвином закономерность естественного отбора вошла в общую теорию систем, а открытие принципа естественного отбора было им сделано благодаря применению того логического подхода к проблеме, который мы теперь называем системным.

Развитие и оформление системного подхода как самостоятельного направления в науке относится к XX столетию. Однако истоки его лежат глубже и отчетливо видны уже с середины XIX в. Здесь прежде всего необходимо вспомнить работы К. Маркса¹. Важную роль в становлении

системного подхода сыграли и работы биологов. Последнее объясняется тем, что описанное в биологии богатство различных типов систем и большая сложность взаимоотношений их элементов вызывали естественное стремление разобраться в них. В XX в. мы можем назвать среди создателей системных концепций биолога Л. фон Берталанфи, врача по образованию А. А. Богданова, физиолога А. Розенблюта, биолога Дж. Б. С. Холдейна, психиатра У. Росс Эшби, физиолога Н. А. Белова, биолога М. М. Завадовского и др. Вместе с тем, как сказано выше, уже в XIX в. у Дарвина — создателя современной эволюционной теории — мы находим пример использования системного подхода.

Рассматривая в целом «Происхождение видов», мы видим там достаточно четко выраженный системный подход и открытие одного из важнейших принципов, вошедших позднее в ряд (сформулированных под разными названиями) теорий систем, — принципа естественного отбора. Дарвин, конечно, сформулировал его как специально биологическую закономерность. Однако тот факт, что этот принцип — в прямом или модифицированном виде — был воспринят в различных областях знания, от астрономии до психологии, говорит о его общесистемном значении. Он занял видное место во многих системных концепциях, на-

¹ Кузьмин В. П. Принцип системности в теории и методологии К. Маркса. М., 1976.

пример у Росс Эшби и еще ранее во «Всеобщей организационной науке» Богданова².

Эволюционная концепция возникла в более или менее оформленном виде задолго до Дарвина и уже к началу XIX в. завоевала определенное число сторонников (Ламарк, Жоффруа Сент-Илер и др.). Тем не менее потребовалось около полувека, чтобы Дарвин окончательно утвердил эволюционную концепцию и показал истинные механизмы эволюции.

До Дарвина говорили о целесообразности строения животных и растений. Само слово «целесообразность» — сообразность цели — уже предполагало своего рода антропоцентризм, т. е. взгляд на предмет с субъективной точки зрения человека, ибо понятие цели несет на себе чисто человеческий смысл. Цель ставится человеком, и слово «целесообразность» означает какую-то аналогию с творчеством человека — сначала построение организма «сообразно цели», затем, как результат, уже приспособленность и способность выжить. Вопрос о факторах, создающих целесообразное строение, породил множество гипотез, большей частью основанных на явном или неявном идеалистическом фундаменте.

Предшественники Дарвина усматривали механизмы, определяющие эволюцию, либо во влиянии внешних условий и в целесообразной реакции на них организма (ламаркизм), либо в автогенезе, т. е. врожденном стремлении организмов к совершенствованию из поколения в поколение.

Но если имеется закономерное стремление к усовершенствованию организмов, в той или иной форме признаваемое или подразумеваемое в автогенетических представлениях, то возникает вопрос, как объяснить несомненную целесообразность самой такой тенденции. Вопрос о целесообразности конкретных разнообразных эволюционных изменений здесь решается посредством ссылки на не менее необъяснимую целесообразность такого стремления к совершенствованию.

Если же говорить об унаследовании приобретенных признаков, то (помимо неясности механизмов их передачи потомству) надо иметь в виду, что эта гипотеза

предполагала, что признаки, приобретаемые в течение жизни, как правило, уже сами являются приспособительными. Без этого унаследование приобретенных признаков не объясняло бы эволюционного прогресса и повышения приспособленности. Но почему эти признаки имеют, как правило, приспособительный характер — именно этого данная гипотеза и не объясняла.

И в том, и в другом случае получается порочный круг: целесообразность, которую необходимо объяснить, уже заранее положена в основу объяснения. Только Дарвин показал, как из случайных, ненаправленных изменений потомства путем их отбора накапливаются все более и более целесообразные изменения. Порочный круг рассуждений им был разбит. При этом все предпосылки, на которые опирался Дарвин (изменчивость, наследственность и геометрическая прогрессия размножения), были известны и ранее. Однако до Дарвина они не были представлены как единая система.

Обе указанные гипотезы, автогенетическая и ламаркистская³, оказавшиеся в конечном итоге несостоятельными, имеют одну общую черту: они не рассматривают вид как систему со сложными конкурентными взаимоотношениями между особями, с появлением у потомков новых признаков, которые опять в каждом поколении частично сокращаются под влиянием отбора и т. д. Между тем, если бы в организме было заложено стремление к совершенствованию или если бы он был способен наследовать и передавать по наследству приобретенные признаки, то для успеха эволюции не имели бы значения строение вида или его численность. Эволюция в этих случаях пойдет одинаково, имеем ли мы перед собой отдельную, единственную линию, где от пары родителей все время рождается пара потомков, или, например, целую систему, будет это вид или популяция.

В самом деле, если приобретенные признаки наследуются, то организм будет неуклонно от поколения к поколению совершенствоваться. И тогда, путем накопле-

² Эшби Р. У. Что такое разумная машина. — Зарубежная электроника, 1969, № 3; Богданов А. А. Всеобщая организация науки (Тактология). М. — Л., т. I, 1925; т. II, 1927; т. III, 1929.

³ И. И. Пузанов считает, что концепция наследования приобретенных признаков, которая обычно у нас обозначается словом «ламаркизм», гораздо более соответствовала точке зрения Жоффруа Сент-Илера, как, впрочем, и вообще ученых той эпохи, чем позиция Ламарка, который, по мнению И. И. Пузанова, был в основном автогенетиком, хотя и признавал, согласно общему воззрению своей эпохи, также и наследование приобретенных признаков.

ния, эволюция может произойти буквально в одной линии. Никакой разницы здесь не предполагается — будет ли эволюционировать одна линия или целый вид, состоящий из многочисленных особей.

Согласно такому механизму, эволюция вида будет просто состоять из суммы эволюций таких сходных параллельных линий. А они должны эволюционировать сходно, хотя и независимо друг от друга⁴. Ведь на каждую из них действуют одинаково одни и те же факторы. Никакого системного взаимодействия между линиями может не быть, все линии эволюционируют параллельно, и вид, следовательно, тоже меняется в сторону своего улучшения только как сумма этих линий.

То же самое можно сказать и об автогенезе. Если у всех особей вида заложено стремление к совершенствованию, то будет ли это одна-единственная линия или это будет большое количество подобных линий, никакого взаимодействия внутри вида, никаких специфических особенностей, характерных для вида как целого и отличающих его от суммы линий, здесь также не предполагается.

Дарвин же рассматривает вид не как элементарную сумму отдельных индивидов с их потомками, а как сложную систему во времени и пространстве.

В пространстве эта система оказывает сложной потому, что в каждом поколении рождается больше организмов, чем может выжить на занимаемой данным видом территории, и особи одного вида поэтому вступают между собой в жестокую борьбу. Таким образом, имеются не просто независимые линии, а линии конкурирующие. Следовательно, это уже не сумма линий, это гораздо более сложная определенная система, в которой все особи связаны между собой борьбой, обменом признаков и их комбинаторикой в потомстве (для размножающихся половым путем видов), т. е. тем, что мы теперь называем обменом информацией.

Во времени вид — это также определенная система, элементы которой (каждая особь или пара особей) дают не простое численное и качественное воспроизведение

себя, а воспроизведение себя в увеличенном масштабе, как количественно, так и качественно. Количественно потомков оказывается больше, чем предков, и именно поэтому мы имеем дело не просто с линией, а с изменяющейся, взаимодействующей особым образом системой поколений. Здесь происходят и качественные изменения — каждое поколение обогащается новыми признаками. Изменчивость — не однотипная, а разнообразная — отличает потомков от их предков новыми особенностями.

Богатство новых признаков позволяет естественному отбору выбирать определенные направления эволюции, заранее не предсказуемые ни автогенетическими факторами, ни теми изменениями, которые в течение жизни более или менее однотипно приобретали их предки под влиянием внешних условий.

Таким образом, именно из взаимодействия во времени и пространстве особей одного поколения, в их борьбе за существование и в их потомках, наделенных новыми признаками, вырастают новые изменения вида в целом, определяемые естественным отбором.

Эта точка зрения позволила Дарвину объяснить целый ряд других особенностей эволюции, и в первую очередь дивергенцию видов, исходя из того, что промежуточные формы, менее приспособленные к внешней среде, чем расходящиеся формы, вымирают, благодаря чему между новыми возникшими формами возникает все больше и больше зияния, хиатусы. Для сравнения теории естественного отбора с ламаркистскими и автогенетическими теориями особенно важно положение о значении численности особей вида и обширности ареала как условий, способствующих ускорению эволюции. Яркой иллюстрацией роли численности и размеров ареала может служить эволюция млекопитающих на небольшом сравнительно изолированном материке Австралии. Обращает на себя внимание, что в то время как перестройка сложного аппарата размножения в Австралии задержалась, другие признаки эволюционировали более успешно, что привело к широкой дивергенции австралийских животных с образованием разнообразных форм сумчатых, сходных по строению и положению в биоценозе со многими видами плацентарных животных, типичных для больших материков.

Сумчатые и однопроходные животные Австралии с их более примитивным типом размножения оказались и менее приспособленными к условиям жизни.

⁴ Ламаркистские представления еще могут объяснить хотя бы распадение вида и дивергенцию дочерних видов, если части исходного вида находятся в разных условиях. Крайне автогенетические представления по существу не могут объяснить и этого, поскольку внутренние факторы в пределах одного вида сходны и не дают предпосылок для распадаения его на различные новые виды.

собленными в борьбе за существование, чем завезенные в Австралию кролики, создавшие одно время, благодаря быстрому росту своей численности, серьезную проблему на этом материке (аналогичная проблема возникла и в растительном мире с занесенными извне кактусами).

Открытый Дарвином принцип естественного отбора имеет огромное значение в самых разных отношениях. Для биологии это первое и, надо думать, единственное решение проблемы целесообразности эволюционных изменений. Все другие гипотезы, пытающиеся ответить на этот вопрос, по существу не отвечали на него, а лишь переносили решение на другой уровень.

Откуда же возникают антидарвиновские тенденции у современных исследователей? Психологически здесь играют роль многие факторы: и моральный протест против жестокого естественного отбора (но он существует!), и эмоции, порождаемые такой сложностью жизненных явлений, что кажется невозможным свести их лишь к естественному отбору, и жажда открыть новое. Но во всех этих случаях побудительной причиной являются, по-видимому, эмоции. А логика каждый раз отступает на второй план. Это ясно видно из рассмотрения как будто бы самых убедительных аргументов критиков дарвинизма.

Так, например, в своем «Номогенезе...» Л. С. Берг, пытаясь опровергнуть роль естественного отбора в эволюции, в частности, ссылается на данные Бумпуса, который обнаружил, что после жестокой бури погибли в основном птицы не среднего типа, а птицы или со слишком длинными, или со слишком короткими крыльями⁵. Из этого Берг делал совершенно нелогичный вывод, а именно: отбор не способствует эволюции, а, наоборот, задерживает ее, сохраняя прежний тип, консервируя его.

Логическая ошибка Берга заключалась в подмене основного положения Дарвина: отбор способствует выживанию наиболее приспособленных. В одних случаях эти приспособленные относятся к прежнему типу, в других случаях — к новому. Когда отбор содействует сохранению прежнего типа, он, естественно, не способствует эволюции. Этот тип отбора уже в середине нашего века И. И. Шмальгаузен выделил в особую форму отбора — так называемый стабили-

зирующий отбор. И, наоборот, в других случаях, отбор рано или поздно неизбежно содействует появлению новых признаков, более ценных для вида, чем прежние, т. е. способствует эволюции.

Отбор не должен отождествляться с эволюцией (как это подсознательно сделал Берг). Он не всегда служит прогрессивным фактором, но всегда является приспособительным фактором. Однако благодаря изменчивости среды, благодаря конкуренции внутри вида и между видами — рано или поздно, в той или иной степени — именно отбор оказывается основной движущей силой эволюции. Изменения могут быть крайне многообразны и дают широкие возможности для выбора путей отбора, но они не безграничны: например, копыто не может одноактно эволюционировать в крыло или даже в лапу хищника. И другой движущей силы, кроме изменчивости и отбора, нет, если не считать вмешательства случайных факторов.

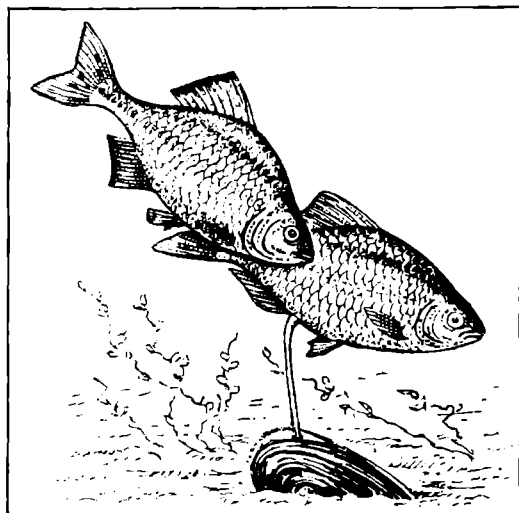
Далее Берг приводит как аргумент против роли отбора случайных изменений такой пример: случайно рассыпанный шрифт (изменения организма), не сложится в «Илиаду» Гомера (совершенный организм). Здесь ошибка в том, что, даже принимая и эту аналогию, надо помнить, что в процессе эволюции «шрифт рассыпался» ведь не один, а миллиарды раз. Сначала получались пусть легко произносимые слоги — не «гхл», а «ба», «ле» и т. д. Остальные («гхл» и др.) уже не повторялись, а при следующем «рассыпании шрифта» (поколении) гармоничные слоги соединялись в несколько большие сочетания, и в этом случае отбор опять сохранял лишь лучшие.

Берг забыл и еще одно условие Дарвина — геометрическую прогрессию размножения: гармоничные формы не просто оставались, а размножались, заменяя отброшенные, дисгармоничные. Так, происходило миллиарды раз в каждой линии развития вида. Причем параллельно существовали миллионы таких линий и большая их часть также отбрасывалась отбором, а на их место становились новые виды, вышедшие из оставшихся.

Если бы имела место только одна «ниточка» вида от амебы до человека, может быть, не хватало бы и миллиарда поколений. Однако цепочек развития видов были миллионы, и в них — сотни миллионов поколений.

Другой пример ошибки в попытке доказать, что теория Дарвина не способна объяснить ряд существующих явлений в эволюции, мы видим у талантливого и эру-

⁵ Берг Л. С. Номогенез или эволюция на основе закономерностей. — В сб.: Труды по теории эволюции. М., 1977, с. 43.



Самка горчача, откладывающая икру в раковину моллюска беззубки.

дивированного ученого А. А. Любищева⁶. Он приводит следующий факт: рыба горчак (*Rhodeus amarus*) «вручает» свое потомство пресноводному моллюску, который таким образом становится временно объектом паразитизма этих потомков, но и он в свою очередь «вручает» свое потомство этой же рыбе. Из двух паразитизмов получается симбиоз: потомство рыбы развивается в благоприятных условиях, а потомство моллюска разносится на расстояния, которые сам моллюск обеспечить не может.

Любищев старался доказать, что возникновение такого симбиоза не может быть объяснено естественным отбором. Действительно, образование каждого приспособления (отдельно у рыбы и у моллюска) маловероятно и требует в порядке отбора длительного времени. В этом он совершенно прав. Далее он указывает, что одновременное возникновение этих двух и по отдельности редко возникающих приспособлений практически совершенно невероятно. Он прав и в этом. Однако его вывод, что возникновение такого симбиоза совершенно не может быть объяснено отбором, — уже не верен. Почему? Любищев подсознательно вводит совершенно необязательное

условие: оба «паразитизма» якобы возникли одновременно. Осуществляются они теперь действительно одновременно и полезны обоим организмам как видам. Однако их возникновение, конечно, было неодновременным. Логически несомненно, что рыба, как организм подвижный, выработала механизм паразитирования на моллюске первой. Но этим она создала систематический контакт с ним на длительную эпоху. И за это время естественный отбор имел возможность выработать и встречный «паразитизм» моллюска на рыбе. Двойной паразитизм превратился в полезный для двух сторон симбиоз. Как видно, исследователь, четко и ясно разобравший почти все звенья логической цепи по данному вопросу, невольно ошибся только в одном звене, а именно: два приспособления двух видов якобы должны были возникать одновременно. И в результате вся логическая цепь оказалась ошибочной. На деле отбор вполне мог создать такой симбиоз и, как видим, создал его.

Однако и случайные факторы, которые мы упомянули выше, ни в какой мере не могут противоречить отбору. Поясним это на следующем примере. Насекомые, жившие на желтоватой песчаной почве и имевшие желтую окраску, переселяются в более богатую растительностью область с преимущественно зеленым фоном. Однако там они своей окраской, естественно, должны выделяться и больше погибать от хищников.

Для них возможно несколько путей приспособления: во-первых, приобрести зеленую окраску под влиянием естественного отбора; и во-вторых, приобрести на прежнем желтом фоне тела черные полосы, которые позволяют им имитировать несъедобных ос. В первом случае они менее заметны для хищников, во втором случае они отпугивают их своим сходством с осами⁷.

Какой из этих путей будет выбран действительно, может зависеть от случайности, от того, какое из этих изменений возникнет раньше. Нетрудно показать, что раньше возникшее изменение будет препятствовать развитию другого, даже более выгодного изменения. Но в обоих случаях эволюция вида пойдет в сторону приспособления. Случайность выбирает только один из возможных приспособительных

⁶ Любищев А. А. Проблемы формы систематики и эволюции организмов. Л., 1982.

⁷ Малиновский А. А. Случайность в эволюционном процессе и «недарвиновская» эволюция. — В сб.: Философия и теория эволюции. М., 1974, с. 103.

путей. Основная же тенденция к приспособлению и к эволюционному изменению определяется принципом естественного отбора.

Случайность играет роль в эволюции, но только в конкретизации действия естественного отбора, а отнюдь не вопреки ему, так как сама логика природы (так же как и точная логика человека) не допускает неприспособительной эволюции.

В ряде случаев антидарвиновские тенденции порождены поисками нового, но поисками недостаточно логичными. Возражение против дарвиновской теории иногда мотивируют тем, что близкие виды могут различаться по ряду особенностей своих белков, причем различия даже касаются неактивных участков белковых молекул, например в ферменте меняются участки молекул, которые непосредственно не участвуют в важных для организма химических реакциях.

Наличие определенных приспособительных признаков, как кажется, может обуславливаться лишь определенной активной группой белковой молекулы. Однако если существование остальной части белковой молекулы необходимо как своего рода база для работы активной группы, хотя бы и пассивная, то и эту остальную часть ферментативной молекулы нельзя считать безразличной. Если бы она была безразлична, отбор просто уничтожил бы ненужную балластную часть. Но если она не активна, почему же она меняется? Не надо забывать, что помимо активных функций, т. е. функций фермента, есть и другие функции. Организм является также и обороняющейся системой, и, как показано во многих случаях, здесь роль структуры белковой молекулы, даже в той ее части, которая активно не действует, очень существенна.

Так, у человека нормальный гемоглобин легко поражается возбудителями малярии. Однако возбудитель малярии (по крайней мере первично) действует лишь на небольшие участки молекулы гемоглобина, которые он может разрушить и благодаря этому может пользоваться материалом гемоглобина. Уже замена одной из 300 аминокислот, входящих в состав гемоглобина, делает гемоглобин почти недоступным разрушительной деятельности возбудителя малярии.

Именно этим объясняется тот факт, что в районах, где риск заболевания малярией большой, распространен гемоглобин S (или некоторые другие аналогичные гемоглобины). Гемоглобин S в гетерозигот-

ном состоянии (в смеси с нормальным гемоглобином s) предохраняет человека от малярии, но в гомозиготном состоянии носители серповидноклеточной анемии чистого гемоглобина (SS) погибают. Однако преимущество этого гемоглобина в гетерозиготе так велико, что такое состояние подерживается в ряде племен Африки на очень высоком уровне — 20—40%. Другой пример относится к мутациям у растений. Известно, что многие мутации, определяющие иммунитет к заболеваниям, сводятся к небольшим изменениям в белковой молекуле, в тех ее несущественных для основной функции участках, к разрушению которых приспособились соответствующие вирусы⁸. А изменение такого участка делает молекулу недоступной для вируса. Достаточно одного перерыва в цепи условий, нужных для вируса, и он не может развиваться. Подчеркнем, что это общий закон для любых целостных систем.

Таким образом, мы видим, что и пассивные участки молекулы могут меняться под влиянием именно естественного отбора, но не потому, что они приобретают какую-то активную новую функцию, а потому, что такое изменение защищает организм от слишком хорошо приспособившихся к нему болезнетворных факторов.

С момента выхода в свет «Происхождения видов» теория Дарвина получала бесконечное количество новых подтверждений. Не будем останавливаться на сообщении разнообразных фактов, где роль естественного отбора прямо наблюдалась в природе или в специально поставленном опыте. Такие примеры общеизвестны и давно вошли в учебники.

Поставим вопрос несколько иначе. Чем обославляется доказательность любого теоретического построения?

Прежде всего тем, что оно объясняет широкий круг фактов, известных создателю теории, или аналогичных им (о чем мы говорили несколькими строками выше).

И кроме того, тем, что она прямо предсказывает еще неизвестные факты, или это делают гипотезы, основанные на данной теории.

Таких случаев в истории дарвинизма было немало, но хочется остановиться на двух, малоизвестных примерах.

В свое время, когда шла резкая полемика против менделевской ретики, одним из основных аргументов ее противни-

⁸ Эфроимсон В. П. Введение в медицинскую генетику. М., 1964.

ков был ее «корпускулярный» характер, якобы не свойственный биологическим явлениям. В чем это проявляется? Во-первых, большинство генов (мутаций) действуют очень узко, и, при совмещении их в одном организме, они, как правило, не взаимодействуют, а просто суммируются. Во-вторых, гены расположены в хромосомах элементарно просто, «как бусы на завязанной в кольцо нитке», и т. д. Действительно, эти особенности показаны для генетических механизмов всех многоклеточных. Но чем объясняются эти особенности? Автором данной статьи было изучено на элементарной математической модели, как такие особенности отзываются на ходе естественного отбора. Оказалось, что этот механизм наследственности обеспечивает наиболее эффективную эволюцию, если она происходит именно под влиянием отбора. Виды, обладающие наследственностью иного характера, должны были отставать в эволюции и погибать⁹. Из этого вытекало много других важных выводов. Но для нас главное — другое: раз указанная «корпускулярность» является приспособлением вида к действию естественного отбора и наблюдается во всем животном и растительном мире, значит естественный отбор — столь же всеобщий процесс, определяющий эволюцию всего живого. Дарвин и не подозревал, каково строение генетических механизмов, и значит его теория естественного отбора получила подтверждение с совершенно новой стороны.

Другой пример — несколько сложнее. Американские генетики Дж. Шелл и Е. Ист в 1936 г. объяснили явление гетерозиса (гибридной силы) тем, что у гибридов близких форм суммируется проявление их различных доминантных генов (а они, как правило, имеют более приспособительный характер, чем рецессивные). Гипотеза эта была принята многими генетиками.

Английский генетик Р. Фишер еще в 1930 г. обнаружил, что рецессивных мутаций значительно больше, чем доминантных, и что они, как правило, понижают приспособленность организма. Основываясь на этом, он выдвинул гипотезу, по которой из двух аллелей одного гена более благоприятный для изменения вида эволюционирует в сторону доминантности. Дж. Б. С. Холдейн поддержал представление об эволюции доминантности, хотя высказал несколько иное мнение о механизме этой эволюции.

А. С. Серебровский и, независимо от него, Д. Д. Ромашов соединили эти две гипотезы и пришли на их основании к выводу, что гетерозис должен отражать общую тенденцию эволюции вида, к которому относятся обе скрещиваемые формы, в эпоху, начавшуюся с момента их расхождения¹⁰.

Эта гипотеза интересна во многих отношениях. В частности, в биологии — это редкий случай, когда синтез двух отдельно возникших гипотез привел к созданию третьей, новой и (как будет видно ниже) лучшей экспериментальное подтверждение. В чем же суть этого синтеза?

Фишер и Холдейн исходили из общеизвестного эмпирического факта, что подавляющее большинство возникающих мутаций вредны (по сравнению с нормальным состоянием изменяющегося гена) и, одновременно, рецессивны по отношению к исходному (доминантному) гену. Если от одного из родителей пришел нормальный ген (А), а от другого — мутантный (а), то потомок (Аа) будет внешне нормальным. Только если оба парных гена у организма будут мутантными (аа), они проявятся внешне.

Чтобы объяснить такую связь вредности и рецессивности, Фишер предположил: если возникшая впервые вредная мутация не вполне рецессивна, то эволюция путем естественного отбора пойдет так, что исходный нормальный ген будет делаться все более доминантным, а мутация — все более рецессивной, пока рецессивность мутации не станет полной. Фишер это объяснил отбором мелких геном-модификаторов, усиливающих проявление более полезного из парных генов. Холдейн же полагал, что, если при возникновении гетерозиготы (Аа) хотя бы отчасти проявляется вредное действие мутации (а), отбор идет в пользу тех вариантов «хороших» генов (А), которые сильнее подавляют проявление вредной мутации. По ряду соображений Холдейн был ближе к истине. Но тут важно другое: эволюция идет в сторону нарастания доминантности полезных мутаций.

Другая гипотеза, на которую опирались в своем синтезе Серебровский и Ромашов, — теория Иста и Шелла о механизме, определяющем гетерозис при скрещивании близких разновидностей одного вида, т. е. тот факт, что такие гибриды обычно

⁹ Малиновский А. А. — Известия АН СССР, сер. биол., 1939, № 4, с. 575.

¹⁰ Малиновский А. А. Незавершенные идеи некоторых советских генетиков. — Природа, 1970, № 2, с. 79.

крупнее, жизнеспособнее и более плодовиты. Авторы рассуждали так: не очень далекие по происхождению виды имеют в основе сходные гены, но часть из них все же различна. При этом, так как доминантные гены, как правило, полезны, то, например, у двух разновидностей есть гены: у первой — только $AbCd$, а у второй — только $aBcD$ (сходные гены здесь не обозначены — они в гетерозисе не имеют значения), у первой полезнее гены A и C , а у второй — B и D . Иначе говоря, у каждой разновидности есть по два преимущества, которых нет у другой. Но при скрещивании получится комбинация $AaBbCcDd$.

Так как в гетерозиготном состоянии проявляются только доминантные гены, то у гибридов проявятся полезные гены обоих видов, и их суммарное проявление и обеспечит большую жизненную силу этих гибридов, т. е. гетерозис.

Серебровский сопоставил гипотезу Фишера — Холдейна с гипотезой Иста и Шелли и несколько дополнил ее. Близкие разновидности обычно по многим признакам эволюционируют еще параллельно. Допустим, в эволюции обе разновидности увеличивают рост. Но это достигается часто за счет разных генов. Известно, что за один и тот же признак часто «отвечают» разные гены, так называемые генокопии. В нашем случае увеличение размеров по сравнению с предковой формой, допустим, возникло у первой разновидности за счет генов A и C , у второй — за счет B и D (предки имели гены $abcd$). Но сначала мутации предковых форм могли быть рецессивными, так как какой-то процент рецессивных мутаций может быть все же полезен. Мутации эти a' и c' вытеснили прежние гены в первой разновидности и b' и d' — во второй. Далее они, согласно Фишеру — Холдейну, эволюционировали и стали доминантными (AC и BD соответственно). В результате обе разновидности исходного вида увеличивались, например, в размерах, а их гибриды благодаря суммации эффекта AC и BD стали еще больше. Из этого следует, что гетерозис указывает на направление эволюции.

Таков был вывод Серебровского и Ромашова. Эта синтетическая гипотеза, как видно, была целиком основана на принципе естественного отбора. Однако у нее не было прямого подтверждения. Она объясняла увеличение жизнеспособности, плодовитости и размеров гибридов, но были и другие конкурирующие гипотезы. Решить вопрос можно было путем гибридизации форм, у которых направление отбора шло хотя

бы по одному признаку (жизнеспособность, размножаемость или размер) в иную сторону, чем у большинства объектов, изучавшихся ранее по гетерозису.

Известно, что дрозофила меланогастер — обычный объект генетических экспериментов — очень небольшое насекомое, эволюционировало в сторону уменьшения размеров. Тщательно проведенные эксперименты с линиями различного происхождения показали, что увеличение плодовитости наблюдалось во всех гибридных комбинациях, гетерозис по длительности жизни (ее увеличение) — в половине скрещиваний (в остальных случаях он не менялся), а вот гетерозис по размерам был в основном отрицательным, т. е. размеры гибридов уменьшались в 7 случаях из 12¹¹.

Таким образом, гетерозис по размерам у дрозофилы оказался иным, чем, например, у млекопитающих, — «отрицательным». Зато он, как следовало из синтетической теории Серебровского — Ромашова, действительно отражает иное направление эволюции насекомых. Значит, прогноз гипотезы Серебровского — Ромашова, основанной на теории естественного отбора Дарвина, полностью подтвердился.

Рассматривая теперь дарвинизм в целом, мы видим, что главное в нем — это железная дарвиновская логика, которая сводит даже давно известные неупорядоченные факты к немногим основным зависимостям и процессам. По Дарвину, многообразие биологических явлений, форм, признаков и т. п. порождено такими простыми (и, давали мы, общеизвестными) вещами, как: изменчивость, которая приводит к тому, что потомки отличаются от своих предков; наследственность, которая может закрепить эту изменчивость; геометрическая прогрессия размножения, которая не дает возможности всем рожденным организмам выжить в том же ареале; наконец, объединяющий все эти сложные биологические особенности естественный отбор наиболее приспособленных организмов. Понятно, конечно, что для людей эмоциональных и мыслящих не столь строго логично, как мыслил Дарвин, может быть, простота принципов и фактов, на которые он опирался, вызывает определенную негативную реакцию. Но тем не менее и такие, ныне представляющиеся уже элементарными, истины все же остаются истинами. Они

¹¹ Зиминая Л. Н. — Ж. общ. биол., 1977, № 4, с. 595.

кажутся простыми только после того, когда их открыли, и тем, кто не мог бы их открыть.

Дарвинизм был открыт после больших усилий, и на его основе развито очень много сложных и интересных гипотез. В то же время все попытки критики дарвинизма основаны на недостаточной продуманности, недостаточной логичности возражений против него.

Суждения о нужности или ненужности тех или иных изменений для организма часто основаны на предположении, что того, чего мы не знаем, не существует в природе. А при более внимательном изучении эти факторы оказываются существующими.

Суть дела заключается в том, что логика дарвинизма является столь же бесспорной, как и скучные для нас истины таблицы умножения. И дальнейшие шаги в понимании многих даже отдельных проблем невозможны без системного подхода, как мы видим это в случае оценки признаков, различающих виды, как якобы «нейтральных». Они нейтральны, когда мы изучаем их значение как частного активного фактора в организме. Однако они совсем не нейтральны в их отношении к организму в целом, например в качестве укрепления его слабого звена в обороне от инфекции.

Поиски нового в области теории эволюции возможны и нужны. Мы видим успех новых поисков в работах А. Дорна, А. Н. Северцова, И. И. Шмальгаузена, С. С. Четверикова и ряда других исследователей, которые не останавливались на «таблице умножения», но шли дальше и применяли ее по-новому, с той же логичностью, с которой были созданы основные ее положения.

Из всего вышесказанного не следует, конечно, что Дарвин своей теорией естественного отбора разрешил все проблемы в биологии. Он сам подчеркивает, что теория естественного отбора объясняет, как возникло колоссальное разнообразие и удивительная приспособленность живых организмов, исходя всего из трех основных особенностей органического мира: изменчивости, наследственности и геометрической прогрессии размножения, приводящих автоматически к естественному отбору. Но возникновение этих всеобщих свойств всех живых организмов, послуживших основой естественного отбора, им, понятно, не было объяснено. Это и теперь остается вопросом будущего. Более того, Дарвин открыл механизм эволюции, но не дал исчерпывающего ответа на вопрос о возможных

и невозможных дальнейших направлениях, в которых отбор поведет эволюцию.

Принцип естественного отбора после Дарвина получил необычайное распространение. В разных модификациях он был применен сыном Дарвина Дж. Дарвином в его теории приливов и отливов, позже — в представлениях об эволюции звездных систем, о превращениях элементов и их изотопов в зависимости от их устойчивости и скорости распада и т. д. В области психологии К. А. Тимирязев провел глубокую параллель между эволюцией путем естественного отбора в органическом мире и творчеством человека путем возникновения избыточного количества идей и сурового их отбора критикой, с уничтожением неустойчивых и нежизнеспособных идей¹². Таким образом, идея естественного отбора оказалась не только первым и единственно научным объяснением биологической эволюции, но и важным методологическим принципом, имеющим общенаучное значение.

¹² Тимирязев К. А. Творчество человека и творчество природы. — Собр. соч., т. 4. М., 1939.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Дорн А. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ И ПРИНЦИПЫ СМЕНЫ ФУНКЦИЙ. М.: Биомедгиз, 1937.

Малиновский А. А. ТИПЫ УПРАВЛЯЮЩИХ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ИХ ПРИСПОСОБИТЕЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ. ПРОБЛЕМЫ КИБЕРНЕТИКИ, 1960, № 4.

Медников Б. М. ДАРВИНИЗМ XX ВЕКА. М.: Советская Россия, 1975.

Северцов А. Н. МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭВОЛЮЦИИ. М.: Изд-во АН СССР, 1939.

Харден Дж. Б. С. ФАКТОРЫ ЭВОЛЮЦИИ. М.-Л.: Биомедгиз, 1935.

Четвериков С. С. ПРОБЛЕМЫ ОБЩЕЙ БИОЛОГИИ И ГЕНЕТИКИ. Новосибирск: Наука, 1983.

Шмальгаузен И. И. ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ. ОРГАНИЗМ КАК ЦЕЛОЕ В ИНДИВИДУАЛЬНОМ И ИСТОРИЧЕСКОМ РАЗВИТИИ. М.: Наука, 1982.

О жертвоприношениях

С. А. Токарев



Сергей Александрович Токарев, доктор исторических наук, заведующий сектором народов зарубежной Европы Института этнографии им. Н. Н. Миклухо-Маклая АН СССР. Занимается проблемами этнической истории, истории религий. Основные монографии: *Общественный строй якутов в XVII—XVIII вв.* Якутск, 1945; *Этнография народов СССР*. М., 1958; *Ранние формы религии и их развитие*. М., 1964 (издана также на польском и сербскохорватском языках); *История русской этнографии*. М., 1968; *Религия в истории народов мира*. Изд. 3-е. М., 1975 (издана также на немецком, венгерском, испанском, румынском, словенском языках); *История зарубежной этнографии*. М., 1978; *Истоки этнографической науки*. М., 1978.

1.

В истории культуры нередки такие факты, когда то или иное социальное явление в ходе своего развития испытывает превращения, порой в корне меняющие самую его природу, его первоначальную сущность, утрачивает прежние функции и приобретает совершенно новые. Иногда от прежнего явления остается только название, а суть дела радикально меняется. Иногда, напротив, смена названий скрывает от нас историческую преемственность.

К числу таких явлений принадлежит обычай жертвоприношений. Его принято относить прежде всего к области истории религии, и по существу это правильно. Но широкое употребление терминов «жертвоприношение», «жертва» не укладывается целиком в сферу религиозного культа, а частично выходит далеко за его пределы. Постараюсь показать это в предлагаемой статье.

2.

Роль жертвоприношений в истории религии действительно очень велика. Сами жертвоприношения чрезвычайно разнообразны по видам и по степени развитости и сложности, начиная от простейших форм — разных «возлияний» или «брызганий» в честь духов или богов, бросания

кусочков пищи перед едой, вешания лоскутков в священных местах — вплоть до кровавых «гекатомб» и умерщвления людей в жертву богам.

Есть разные взгляды на происхождение жертвоприношений и их значение в религии. Согласно старой церковно-богословской теории, жертва — знак преклонения человека перед божеством, проявление покорности, благодарности и тому подобных чувств. Эту теорию пытались возродить этнографы католической «венской» школы — В. Шмидт и др. По их мнению, у наиболее примитивных народов сохранилась древнейшая форма жертвоприношений — так называемая жертва первиннок, принесение в жертву первой охотничьей добычи, первых плодов и приплода стад — как знак преклонения перед верховным существом. Этот взгляд связан с фидеистической теорией «прамонотеизма»¹.

Среди свободомыслящих буржуазных ученых широко распространена «теория дара», связанная с анимистической концепцией происхождения религии; впрочем, эта теория высказывалась уже просветителями XVIII в. Согласно этой теории, пер-

¹ Schmidt W. *Ursprung und Werden der Religion. Theorien und Tatsachen*. Münster, 1930, S. 271.

вобытный человек стремился задобрить или умилостивить духа или бога, которого представлял себе по аналогии с самим собой, и потому предлагал ему то, в чем дух или божество, по его мнению, нуждается: пищу, иногда одежду, оружие, украшения, утварь.

Близок к этому пониманию, но более узок взгляд Г. Спенсера. Так как древнейшим культом был, по его мнению, культ умерших, то значит, и первоначальным видом жертвоприношения было кормление покойников и снабжение их всем необходимым. Отсюда впоследствии развились и иные, более сложные жертвы духам и богам².

Есть и другие точки зрения на происхождение жертвоприношений. Представители одной из них утверждают, что первоначально принесение жертвы вовсе не было даром или принесением богу чего бы то ни было: оно имело совсем иной смысл. Жертвоприношение было формой общения членов рода между собой и с божеством рода. Убивание и поедание жертвенного животного — это совместная родовая трапеза, и в ней приглашается принять участие и божество или тотем рода. Бог и его почитатели, — писал Р. Смит, — обычно едят и пьют вместе, и этим знаком декларируется и запечатлевается их со товарищество. Древнейшая жертва — это убивание и поедание тотемического животного. Отсюда развивается идея, что всякое жертвенное животное — это священное животное. Из этой первоначальной формы выводятся и все позднейшие формы жертвоприношений³. Эту «теорию общения» развил Дж. Фрэнгер. Вкушение жертвенного мяса есть как бы поедание бога — «богоядение» (теофагия). Обряд богоядения встречается в различных, в том числе и развитых религиях. Пережитком его можно считать христианское «таинство евхаристии» — причащение: оно, по церковному учению, есть «вкушение тела и крови Иисуса Христа»⁴.

Следует отметить также весьма оригинальный, хотя мало убедительный взгляд немецкого этнографа К. Прейсса, связанный с его «колдовской» теорией религии (боги — как символы колдовских сил). Согласно этой теории, первоначальной целью принесения в жертву животного было —

освободить заключенную внутри него колдовскую силу⁵.

В атеистической литературе — особенно в прежней — нередко встречается «теория обмана». Согласно этой теории, обычай принесения жертв введен обманщиками-жрецами, которые для собственной выгоды изобрели этот способ наживаться за счет простодушных людей. Они требовали от соплеменников приносить пищу или разные полезные предметы под предлогом того, что это нужно для духов, для предков, для богов. Этот взгляд высказывали еще публицисты и философы XVIII в., в новейшее время его в особенно упрощенной и грубой форме излагал немецкий популяризатор атеизма, тяготеющий к вульгарному материализму — Г. Эйльдерман⁶. Конечно, своекорыстие жрецов и сознательный обман ими верующих играли немалую роль в позднейшем развитии института жертвоприношений — и зачатки этой системы обмана были налицо еще в доклассовом обществе (это очень хорошо показал американский этнограф П. Радин⁷), — но сводить всю историю жертвоприношений к одному грубому и притом сознательному обману — недопустимое упрощение и вульгаризация вопроса.

3.

Каждая из названных теорий содержит в себе ту или иную долю истины и объясняет отдельные факты. Но ни одна из них, взятая в отдельности, не может объяснить всех разнообразных форм и типов жертвоприношений. В действительности не только формы, но и мотивы жертвоприношений бывают весьма различны: тут в самом деле есть и кормление умерших, и задабривание духов, и магическое умерщвление животного, и тотемическое «причащение», и умилостивительный дар богу, и акт очищения, и своекорыстный обман со стороны жрецов. Правы, видимо, те исследователи, которые указывают на разнообразие мотивов жертвоприношений и на невозможность дать им всем одно простое объяснение.

Можно пойти и дальше. Уже одно разнообразие форм жертвоприношений и их мотивов наталкивает на ту мысль, что и самые корни обычаев принесения жертв

² Спенсер Г. Основания социологии, т. I. СПб, 1876.

³ Smith Robertson. Lectures on the religion of the Semites. L., 1907.

⁴ Фрэнгер Дж. Золотая ветвь. М., 1980, с. 532—554.

⁵ Preuse K. Ursprung der Religion und Kunst.— Globus, 1904, B. 86, S. 324.

⁶ Эйльдерман Г. Первообытный коммунизм и первобытная религия. М., 1931.

⁷ Radin P. Primitive religion. N. Y., 1937.

могли быть разными. А внимательное их рассмотрение приводит к предположению, что эти корни связаны с разными сторонами общественной жизни людей, быть может, несводимыми одни к другим.

В самом деле. Мы можем говорить здесь, как мне кажется, о пяти главных аспектах в общественном бытии древнего человека, каждому из которых соответствовали и порождались ими формы ритуала, в частности жертвенного. Эти пять аспектов таковы:

1. Техника первобытного охотничьего (а позже скотоводческого и земледельческого) хозяйства.

2. Возрастно-половые взаимоотношения.

3. Межплеменные отношения, войны.

4. Обращение с умершими.

5. Зачаточные формы социального расслоения.

Рассмотрим ближе каждую из этих сторон общественной жизни древнего человека.

4.

Об охотничьем образе жизни наших древнейших предков эпохи нижнего и даже верхнего палеолита мы знаем мало, и приходится довольствоваться лишь предположениями. Однако считается общепризнанным, что у наших предков вначале преобладала практика коллективных охот, особенно если дело шло о крупной дичи. Поэтому и потребление полученной добычи не могло не быть коллективным. Такая практика существовала, конечно, тысячелетиями, как чисто стихийное действие, прежде чем в темном мозгу нашего предка могла зародиться искра осознания совершаемого. И судя по реликтам и пережиткам этой практики у современных отсталых народов, такое осознание принимало вначале вид тотемических представлений о животном-сородиче: таково очень правдоподобное предположение Р. Смита. Так, из древнейшей охотничьей трапезы выросла идея и практика древнейшего вида принесения жертвы — «жертва-общение». Торжественно поедаемое животное — это священное животное рода, это родовое божество, умерщвляемое как бы в жертву самому себе. Классический пример такого древнего института — «медвежий праздник» у гиляков, так тщательно описанный Л. Я. Штернбергом, и в сходных формах бытовавший и у их соседей — айнов, улчей и др.⁸ Каким образом, когда и почему

на место этого «животного-сородича» (то-тема) встал человек-сородич, человеческое воплощение божества,— трудно сказать при теперешнем состоянии наших знаний (при всем остроумии попытки Дж. Фрэзера объяснить это); но по отдельным фактам можно считать доказанным, что такой обычай «богоядения» существовал у многих народов, а отдаленный пережиток этой идеи сохранился в христианской «евхаристии».

Можно предположить — хотя и трудно доказать на фактах,— что к этой же древнейшей эпохе охотничьего хозяйства тянутся корни другого вида жертвоприношений — «жертвы первинков». Но если богословы толковали этот обычай как проявление первобытного богопочитания «прамонотеистического» типа, то с материалистической точки зрения он объясняется иначе и проще. Речь идет о древнейших формах общественного регулирования производства и потребления: было чисто стихийное требование соблюдать определенные сроки начала охоты, рыбной ловли, собирания пищи, а позже — начала потребления продуктов земледелия, приплода стад. Эти правила у многих народов сохранились донныне. До наступления назначенного срока и добывание и потребление определенных видов пищи — плодов, ягод, грибов, орехов, так же как охотничьей добычи, а впоследствии хлебных злаков — запрещалось обычаям. В определенный же срок это временное «табу» снималось. Снятие табу облекалось в обрядовые формы. И одним из самых распространенных обычаев было символическое подношение первых плодов, первой добычи, первого приплода стад духу — покровителю охоты или земледелия, одним словом, сверхъестественному патрону общины. Само разрешение пользоваться первыми плодами после запрета, съедание первой добычи после периода воздержания обставлялось, вероятно, как торжественная церемония, а в дальнейшем эта церемония осмысливается как жертва первинков духам или богам. У оленных чукчей, сохранивших архаичные черты верований и обрядов, ежегодный осенний убой оленей непременно сопровождается принесением жертвы: бросают кусочки мяса в жертву семейному очагу и благодетельным божествам-покровителям — «направлениям света»⁹. По старым обычаям чувашей начинать есть хлеб но-

⁸ Штернберг Л. Я. Первобытная религия в свете этнографии. Л., 1936.

⁹ Богораз В. Г. Чукчи. Л., 1939, с. 21, 71—77.

вого урожая, первые плоды, даже лесные ягоды и грибы можно только после того, как совершен обряд «моления» (или «чукления») этих плодов, ягод, хлеба, с принятием подобающей жертвы. По закону Моисея, изложенному в Библии, все первородное любого вида скота должно идти в жертву богу. В католических и в православных странах Европы в определенные праздничные дни совершалось церковное «благословение» нового урожая, плодов и пр. У русских крестьян, по старому обычаю, начало потребления нового меда приурочивалось к 1 августа («медовый спас»), начало потребления яблок — к 6 августа («яблочный спас»), потребление хлеба нового урожая — к 16 августа («хлебный спас»), все по старому стилю.

Близки к жертве паринков обычаи посвящать или отдавать духам и богам частицу от потребляемой пищи или напитков — но уже не по срокам «снятия табу», а повседневно. В Древней Греции был обычай делать «возлияния» в честь богов во время пиршеств: отливали в жертву богам несколько капель вина перед тем, как его пить. У алтайцев и у близких к ним народов Сибири существовал обычай «брызгать» в честь духов или в жертву очагу чай, араку или иной напиток, обмакивая в чашку указательный палец правой руки.

Почти та же идея выражена и в обычае, известном у многих, преимущественно охотничьих народов, «кормить» домашние изображения духов-покровителей промысла («бурханы», «онгоны» и т. п. у народов Сибири), в благодарность за успешный промысел: деревянному идолу мажут рот кровью и жиром убитого животного¹⁰.

С переходом от примитивного «присваивающего» хозяйства к «производящему», к скотоводству и земледелию, нормы общественного контроля над производством и потреблением усложняются и общинная основа их не всегда видна непосредственно. Она, например, лишь подразумевается в одной очень своеобразной форме жертвоприношения, еще недавно бытовавшей у скотоводческих народов Северной Азии: это «посвящение» духам живых животных. У хантов, манси, ненцев, селькупов, эвенков, тувинцев-тоджинцев был обычай посвящать духам живых оленей, чаще белой масти: такого как бы отданного духам

оленя уже нельзя было употреблять для обычных целей в хозяйстве, ездить на нем верхом или запрягать, разве только для перевозки священных предметов или изображений («боговы олени», «зашаманенные олени»). Так же поступали алтайцы, хакасы, буряты с рогатым и конным скотом: посвящая божеству какого-нибудь коня белой масти, они не резали его, а отпускали на волю. Такой обычай посвящать живых животных божеству хорошо известен в ветхозаветной религии: это, во-первых, знаменитый «козел отпущения», которого предписывалось «поставить живого перед Господом и отогнать его в пустыню для очищения» (Левит, XVI, 10); а во-вторых, всеохватывающее требование — «все первородное мужского пола, что родится от крупного скота твоего, посвящай Господу Богу твоему; не работай на первородном воле твоем, и не стрижи первородного из мелкого скота твоего» (Второзаконие, XV, 19).

У земледельческих народов древнего мира — египтян, греков и др. — тоже были священные животные, посвященные кому-либо из богов. Такое посвященное животное и само считалось как бы божеством. Таков был египетский бык Апис. Здесь, может быть, один из корней зоолатрии, когда целые виды животных (например, коровы, змеи и др. в Индии) считались священными. Ведь необязательно видеть здесь видоизменение тотемизма, как зачастую полагают.

Еще одна характерная разновидность жертвенного ритуала тянется корнями своими к традициям примитивного охотничьего хозяйства, хотя в развитых формах она дожила до поздних этапов истории: это жертвенный огонь. Корни огненного ритуала переплетаются и с традициями первобытной охотничьей трапезы, и с «жертвой первинков» (доля божества сжигалась), и с олицетворением самого огня как божества. Такое переплетение особенно хорошо видно в ведической религии древней Индии, где Анги («огонь») выступал в двойной роли: он и посредник, доносящий до неба жертву, предназначенную богам; но и сам божество, и одно из главных, ему самому пелись гимны и приносились жертвы. В позднейших «огнепоклоннических» религиях (маздеизм, парсизм, йезидизм) огонь выступает скорее как очистительная сила, чем как особое божество. Но зато сама идея огненного очищения присутствует в самых различных формах буквально во всех религиях, начиная от копейной свечки или лампы перед православной иконой и кон-

¹⁰ Исламин В. Самоеды в домашнем и общественном быту. СПб, 1847.

чая адским обычаем средневековой инквизиции сжигать «еретиков» живыми для «очищения» их от ереси или фанатиками-самосожженцами в русском старообрядчестве.

Все перечисленные до сих пор виды и разновидности жертвоприношений корнями своими связаны с условиями архаического охотничьего хозяйства, либо с последующим превращением его в производительное земледельческо-скотоводческое хозяйство. Они вырастали или непосредственно из практики охотничьих трапез (коллективное потребление добычи), или из стихийно складывавшихся норм общественного регулирования производства и потребления. Неосознанные традиционные действия понемногу начинали осмысливаться, и это осмысление неизбежно принимало мифологическую форму в образах духов-покровителей. Им и приносились в жертву первинки. Иногда — как это особенно ясно видно в предписаниях моисеева закона — бог диктовал в прямой и категорической форме и во всех подробностях, как, когда, при каких обстоятельствах и по какому поводу надо приносить в жертву таких-то и таких-то животных.

5.

Другой корень института жертвоприношений кроется в самой структуре родоплеменного общества. Можно считать общепринятым, что самой ранней формой структуры первобытной общины было, наряду с дуально-родовым делением, возрастно-половое расчленение. Наиболее ярким проявлением и механизмом действия возрастно-половой системы был институт возрастных инициаций, знаменующих переход подростков в ранг взрослых мужчин, а девушек — в нубильное состояние. Переход этот был важнейшим рубежом на жизненном пути любого члена первобытной общины, а для самой общины — узловой точкой в биосоциальном ритме ее жизни. Обряды инициаций включали в себя тяжелые, иногда мучительные испытания. И некоторые из них представляли как бы особую форму жертвоприношений.

Другие формы принесения жертвы духам или богам лишь косвенно связаны с институтом возрастных инициаций, да и, собственно, жертвами их можно назвать лишь условно. Это религиозный гетеризм — девушки-иеродулы приносили в жертву божеству свою девственность (так было в вавилонском культе Астарты); кастрация и самокастрация в сирийском культе Аттиса

и в других подобных культах, вплоть до русских скопцов; религиозное самоубийство — крайняя степень изуверства, практиковавшаяся в некоторых сектах Индии, но известная и в более близких примерах: старообрядцы-самосожженцы в России XVII в., секта «Народного храма», последователей Джонса, их трагическая гибель в октябре 1978 г. Различные формы посвящения себя богу представляло собой древнееврейское назорейство, налагавшее на человека, «посвятившего» себя богу, ряд пожизненных или временных ограничений и запретов; сохранившийся донныне институт монашества в христианстве, исламе, буддизме. Да, в сущности, вся система религиозного аскетизма с целой гаммой оттенков и степеней, начиная от заурядного соблюдения постов и до изуверского ношения железных «вериг», жестких «власяниц» и пр., вплоть до индийского отшельничества, мусульманского дервишизма, христианского схимничества, затворничества и пр. — все это лишь различные производные от основной идеи — посвятить себя богу и тем принести ему жертву. В переводе же на язык социологических понятий — это разные формы и способы самовыделения из общины некоторых групп ее членов. Иначе говоря, введение оппозиций инициированные — неинициированные, обрезанные — необрезанные, крещенные — некрещенные, монахи (отшельники, схимники) — миряне.

Так, например, у североамериканских индейцев инициации юношей иногда превращались в добровольные самоистязания (подвешивание на ремнях, продетых сквозь мускулы и т. п.). И это рассматривалось как своего рода жертва духам: индеец беден и ему нечего больше принести духу-покровителю кроме как собственное добровольное мучение.

Несколько иное выражение получила та же идея в иудаистском религиозном обычае обрезания. Этот обычай, первоначально составлявший часть ритуала инициаций, перенесен в иудаизме на младенческий возраст: удаление «крайней плоти» новорожденного мальчика рассматривается с религиозной точки зрения как жертва богу.

Лишь условно можно рассматривать как разновидность жертвоприношения характерный для перехода от доклассового общества к классовому обычай «потлача», лучше всего изученный на примере индейцев западного побережья Северной Америки. Потлач — это институт обрядовой раздачи накопленных богатств человеком

ценностей (в виде одеял, медных пластинок, рабов и пр.). Раздавая все свое имущество или уничтожая его, вождь племени повышал тем самым свой социальный авторитет. Впрочем, идея потлача не включала в себя представления о каком-либо духе или божестве: «жертва» предназначалась не им. Да и к институту инициаций потлач далеко не всегда приурочивался.

6.

Третья категория жертвоприношений — заупокойные дары — истоками своими уходит в то же глубокое прошлое. Общение с телами умерших — чисто инстинктивных — привело уже в начале верхнего палеолита к образованию устойчивых традиций: погребальных обычаев и обрядов. Сейчас трудно с уверенностью судить о том, какие смутные идеи связывались в сумеречном мозгу палеолитического человека с представлением об умершем сородиче. Но и археологические, и этнографические данные говорят об обычаях снабжать покойника пищей и необходимой утварью, оружием, украшениями... Эти заупокойные дары многими рассматриваются как главный источник всяческих вообще видов жертвоприношений. Могильный инвентарь — древнейший вид жертвы. В целом этот взгляд односторонен: мы уже видели типы жертвоприношений, никак не сводимые к погребальным дарам. Но какая-то часть истины в этом взгляде есть.

Действительно, с погребальными обычаями связана не только практика непосредственно могильных даров — жертв в узком смысле слова, но и ряд обычаев, косвенно или символически отражающих ту же идею. Сюда относятся обычаи траура, налагаемого на родичей и близких друзей умершего: воздержание в течение какого-то времени от определенных видов пищи, соблюдение обета молчания, ношение траурной одежды и пр. Иногда — царапать и резать до крови себе голову, лицо, тело, отрубать себе фалангу пальца (Океания). В эпоху классового общества заупокойные дары становятся порой еще более обильными, обряды еще более жестокими. Приносятся кровавые жертвы. При погребении знатного лица — вождя, царя — особенно в рабовладельческих монархиях древности, на средневековом Востоке практиковались и человеческие жертвоприношения как часть погребального ритуала: покойника сопровождали на тот свет десятки, если не сотни, убитых или закопанных живьем

рабов, жен, наложниц царя, об этом, впрочем, будет сказано позже.

В смягченной форме обычаи траура и поминок по умершему дожили до наших дней. Дожил до нас и обычай заупокойных даров: еще и сейчас во многих странах мира родственники умершего в определенные дни, в праздники, в годовщину смерти несут на кладбище и оставляют на могиле еду, например вареные крашенные яйца, хлеб, вино, и — конечно! — цветы! Последнее — особенно яркий пример долговечности традиции, тянущейся от палеолита до наших дней. Здесь, впрочем, как и в столь же долговечном обычае «поминок», налицо почти полная секуляризация прежней религиозной практики — полное освобождение ее от религиозных идей. Об этом тоже будет сказано позже.

7.

Четвертая линия развития жертвоприношений тянется корнями своими к древним межплеменным отношениям. Что приобладало в этих отношениях, враждебные ли столкновения или мирные связи, трудно сказать, но, очевидно, было и то, и другое. Врагов убивали в бою и, может быть, съедали; взятые в плен подвергались (иногда? часто?) той же участи. Вопрос о распространенности каннибализма в ранней истории человечества еще недостаточно изучен. Думается, однако, что он был слишком раздут в прежней научной литературе. Хотя невозможно отрицать, что в некоторых регионах этот обычай держался до недавнего времени, но во многих случаях рассказы путешественников о диких людоедах при проверке не подтверждались. Вопрос об «эндоканнибализме» мы, впрочем, здесь оставим в стороне.

У некоторых особенно воинственных народов умерщвление врага в бою или военнопленного стало осмысляться как жертва божеству. Соответственно сам образ бога стал принимать черты свирелого и кровожадного существа, охочего до человеческой крови. При этом, правда, приносимый в жертву не всегда был непременно чужеземником: могли убить и своего незнатного соплеменника.

Такое жертвоприношение воинственному богу Оро наблюдали в 1777 г. европейские моряки на о-ве Таити (Полинезия), но, кажется, это не было там заурядным явлением. Зато воинственные ацтеки в Мексике довели до огромных размеров практику человеческих жертвоприношений

своим жестоким богам — Уитцилопочтли и Тецкатлипока. Чтобы иметь постоянно в запасе человеческий материал для этих жертвоприношений, они вели частые войны со своими соседями для захвата пленных. Эти жертвы требовались особенно для «солнечного» бога Тецкатлипока. Считалось, что солнце, не получая их достаточно, перестанет ярко светить. Испанские конкистадоры — сами отнюдь не мягкосердечные люди — были поражены видом высокой пирамиды из человеческих черепов в г. Теночтитлане — останков принесенных в жертву.

Но не только боги, но и души умерших требовали порой человеческих жертв. Уже упоминалось об обычае убивать рабов, слуг, наложниц при погребении царя. Вспомним Ахилла, воспетого Гомером, — Ахилла, перебившего множество троянцев во главе с самим Гектором для умиротворения тени своего погибшего друга Патрокла.

По существу в эту категорию жестоких военных обычаев — истребление врагов во славу и по требованию своего бога — попадает и вся история истребительных войн израильтян за овладение Палестиной в конце II и в начале I тысячелетий до н. э. В Библии эти войны описываются как прямое повеление Яхве, который, приказывая своему народу завоевывать город за городом, настойчиво повторял требование не оставлять в живых ни одного человека, не разбирая ни пола, ни возраста (Иисус Навин, VI, 20; X, 28—43 и др.). Таких массовых человеческих жертвоприношений, совершаемых по безоговорочному требованию бога, мировая история, кажется, еще не знала.

Разновидностью обычая приносить богам в жертву людей можно считать варварский обычай подносить божеству скальп убитого врага. Этот обычай, практиковавшийся древними скифами, получил особую известность у североамериканских индейцев; впрочем, в последнем случае большая доля вины ложится на английскую и французскую военно-колониальную администрацию, которая вовлекла своих индейских союзников во взаимную затяжную войну и выплачивала индейцам денежную премию за каждый принесенный скальп врага¹¹.

Еще более отвратительную разновидность обычая приносить пленных в жертву богам или духам представлял в древнем

Риме кровавый институт гладиаторских «игр». Ведь прежде чем стать печально знаменитым цирковым зрелищем, «игры» гладиаторов были — вначале у этрусков, а потом у самих римлян — видом погребальной жертвы.

И все же не надо преувеличивать степень распространенности обычая человеческих жертвоприношений в истории народов. Это отнюдь не было универсальным явлением, как не был им и каннибализм. С другой стороны, это не было собственно первобытным обычаем. Напротив, все известные истории примеры обычая приносить в жертву людей относятся вовсе не к примитивным племенам, а к народам, достигшим относительно высокого уровня общественного развития. Индейцы Северной Америки колониальной эпохи, древние скифы, кельты, этруски, римляне, израильтяне эпохи завоевания Палестины — все это воинственные народы (точнее, народы в особенно воинственный период своей истории), стоявшие на грани классового строя или на раннеклассовой стадии. Делать из этих фактов какие-либо широкие выводы можно лишь с большой осторожностью.

Такая осторожность нужна тем более, что в этнографической литературе очень часто встречаются бездоказательные утверждения, что такой-то невинный праздничный обычай есть пережиток человеческого жертвоприношения. А к каким весьма опасным последствиям могут привести такие безответственные утверждения видно хотя бы по печально известному так называемому мултанскому делу (1890-е годы): провокационному полицейскому обвинению группы крестьян-удмуртов с. Б. Мултан в ритуальном убийстве — умерщвлении старика-нищего в жертву своим богам. Потребовалось вмешательство всей русской прогрессивной общественности для отмены обвинительного приговора уже в третьей судебной инстанции. Другой, еще более вопиющий пример — провокационный процесс М. Бейлиса (1912—1913 гг.): обвинение Бейлиса полицейскими властями при участии видных черносотенцев в ритуальном убийстве ребенка Андрюши Ющинского. Для опровержения этого «кровавого навета» опять понадобилось широкое вмешательство прогрессивной прессы, всех честных людей России.

8.

¹¹ Friederici G. Skalpiere und ähnliche Kriegsbräuche in America. Braunschweig, 1906.

Вернемся к первоначальным корням жертвоприношений.

Чем дальше заходил процесс внутреннего разложения первобытной общины, тем более обнаруживались в ней противоречия интересов, с одной стороны, колдунов, знахарей, гадалей, шаманов, позже жрецов, а с другой — массы «простого народа». Здесь-то и начинают, и чем дальше, тем больше, проявляться обман, вымогательство. Хотя попытки некоторых прежних авторов, особенно пропагандистов-атеистов, свести все вообще жертвоприношения к «жреческому обману» страдают крайним упрощением проблемы, фактов такого обмана отрицать нельзя. Ведь недаром один из видных современных этнографов, американец П. Рэдин, исследуя ранние формы религии, пришел к выводу, что все эти первобытные верования, магическая практика, жертвоприношения и пр. дело рук «религиозных формуляторов» — шаманов и жрецов, для которых религия — инструмент, используемый для экономической эксплуатации¹². Оно в значительной мере так и было. Сибирские шаманы, леча людей или скот, требовали принесения кровавых жертв для умилостивления духов; часть жертвенного мяса они забирали в свою пользу. Некоторые шаманы этим и жили, не имея своего хозяйства.

Здесь можно прощупать и один из социальных корней широко распространенного у очень многих народов обычая «жертвы-гадания». Стремление узнать что-то о будущем, об успехе или неуспехе предпринимаемого дела свойственно всем людям. На ранних ступенях общественного развития это выражалось в разнообразных «гаданиях» (мантика): по полету птиц, по поведению животных, по звездам, по линиям руки, по картам и пр. Издавна начали выделяться в общине и специалисты — гадалки и гадалки, по большей части шарлатаны и обманщики. И вот в некоторых странах, особенно в странах античного мира, получил большое развитие особый способ гадания — по жертвенным животным: гадалка-жрец резал в жертву богам овцу, теленка, петуха (смотря по важности дела) и по виду внутренностей жертвы или по другим признакам узнавал и объявлял людям волю бога. В античной Греции, в Риме считалось невозможным начинать какое-либо важное дело, особенно военное, не испросив перед тем волю бога. Имелась в виду, конечно, и иная цель — задобрить божество, обеспечить его помощь в задуманном деле.

В классовых обществах система вымо-

гательств, обязательных жертв в пользу храма (т. е. в пользу жрецов) достигли вообще огромных размеров. В Библии подробно перечисляются различные виды обязательных жертвоприношений в разных случаях жизни. Жрецы Иерусалимского храма, в руках которых скапливались таким путем большие материальные ценности, располагали огромной властью над населением. В других странах не столько масса верующих, сколько цари жертвовали и жаловали колоссальные богатства в пользу храмов, чтобы заручиться поддержкой жреческой верхушки (Египет, Месопотамия, отчасти античный мир). Некоторые храмы пользовались особым авторитетом, например Дельфийский храм с его знаменитым прорицанием, — уже одно оно служило источником обогащения. В средние века католическая церковь — монастыри, епископства и пр. — занимали место в числе богатейших феодальных владений; на церковных землях работали крепостные крестьяне.

В сокращенном виде та же идея благодарственной жертвы сохранилась до наших дней в католическом обычае вешать в храме «ex voto» («по обету») изображения частей тела, чудесно исцеленных каким-нибудь святым, богородицею.

В годы Реформации владения церкви весьма поубавились: в ряде стран проведена была секуляризация церковных владений, конечно, в пользу светских феодалов и государств. Наиболее известна секуляризация в Англии в эпоху Тюдоров (XVI в.), а также в Германии и в других странах Западной Европы. Сходный процесс был в России, где крупные монастыри, особенно Троицкая лавра, Александро-Невская лавра, Кирилло-Белозерский, Соловецкий и др. монастыри, владели миллионами десятин земли с находившимися на ней крестьянами. Проведенная Екатериной II секуляризация (1764) передала значительную часть этой земли и крестьян в руки государства. Но вплоть до 1917 г. крупные монастыри продолжали быть богатейшими землевладельцами.

В мусульманских странах церковь владела огромными землями, составившимися из разных пожалований и пожертвований. Они считались «вакуфными», т. е. неотчуждаемыми. В некоторых странах общая площадь вакуфных земель составляла до половины, а то и больше общего земельного фонда (Турция, среднеазиатские ханства). Крупные социально-экономические реформы в странах ислама после первой, а особенно после второй мировой войны ослабили экономическое могущество церкви.

¹² R a d i n P. Op. cit., p. 305.

9.

Крайнее разнообразие форм и разновидности жертвоприношений делает очень затруднительной не только их классификацию и поиски их первоначальных социальных корней (попытка этого рода сделана нами раньше), но и, тем более, выявить какую-то общую закономерность в истории развития обычаев жертвоприношений. Но, как уже говорилось, можно, кажется, уловить некую общую тенденцию в их развитии, вернее, две тенденции противоположного направления: тенденцию ужесточения и тенденцию смягчения. В первой отражалось нарастание классовых противоречий, создание деспотических монархий и неизбежное при этом установление террористического режима, запугивания народных масс. Во второй — общий рост культуры, смягчение нравов, а еще более — чисто материальные мотивы, естественное желание отделаться подешевле от требовательности богов. Последнее особенно интересно. Известно, например, что древние римляне иногда хитрили перед богами: обещав Юпитеру в жертву такое-то количество голов скота, молящийся затем подменял их таким же числом головок чеснока в наивной надежде, что Юпитер не заметит обмана. В Китае в новейшее время практиковалось принесение в жертву предкам и богам животных и разных ценностей, но... вырезанных из бумаги и затем сжигающихся на алтаре.

Порой обе тенденции причудливым образом переплетались: ужесточение и смягчение замечалось у одного и того же народа, в одну и ту же эпоху. Ведь тот же благочестивый римлянин, подменявший человеческие головы чесночными головками, с удовольствием смотрел, как режут друг друга гладиаторы на арене цирка (прежде это делалось над гробницей умершего).

В отдельных случаях можно воочию видеть переход от кровавой формы жертвоприношения к смягченной, символической его форме. У тлинкитов Северной Америки прежде бывал жестокий обычай «строительной жертвы»: при постройке нового дома в ямы, вырытые под опорные столбы, бросали тело нарочно убитого раба, но позже обычай этот принял символическую форму: раба заставляли влезть в каждую из вырытых ям, а потом отпускали его на волю. Дальнейшим же смягчением обычая строительной жертвы был обычай (известный, между прочим, русским крестьянам) класть под углы строящейся избы

какие-нибудь предметы: горсть зерна, клочок шерсти, серебряную монету и т. п., без чего дом якобы не будет стоять — невинный отголосок прежней кровавой строительной жертвы.

10.

В заключение несколько слов о дальнейших превращениях интересующего нас явления духовной жизни народов. Обычай жертвоприношений — как существенная составная часть религиозного культа — сложился в начале из нескольких различных корней, связанных с различными аспектами условий жизни первобытного общества: из специфики первобытного охотничьего хозяйства (и позже сменяющего его земледелия и скотоводства), из структуры самой первобытной общины, из межплеменных столкновений, из погребальных обычаев. Корни эти лежали первоначально вне религиозной сферы, но выросшие из них ритуальные институты стали компонентами религиозной практики.

Позднейшая же история жертвоприношений рисует нам как бы обратную картину: по мере общего роста культуры, усложнения и модернизации общественной структуры, расширения сферы общественного сознания постепенно высвобождаются из-под религиозной опеки один за другим общественные институты, идет процесс секуляризации социальной и культурной жизни, секуляризации общественного сознания. Такой секуляризации подвергаются и обычаи жертвоприношения в той мере, в какой они вообще сохраняются, если не исчезают целиком.

Здесь перед нами тот случай, когда некое социальное явление постепенно, но радикально освобождается не только от религиозной шелухи, его покрывавшей, но и от самого своего первоначального существа, в корне меняет самую свою природу, сохраняя, однако, несомненную историческую связь с этим прежним своим существом, с прежней природой. Особенно отчетливо историческая связь с жертвоприношениями проявляется в погребальных обычаях. Погребальные дары — обычай, вначале сложившийся из чисто стихийных действий в отношении умершего и впоследствии давший начало погребальным ритуалам, разросшимся местами до гипертрофированных размеров сложного и богатого похоронного церемониала (как в Египте), кое-где даже с человеческими жертвами, ныне свелся к скромным приношениям на могилах родных и друзей. Эти прино-

Ишения местами сохраняют слабую связь с религиозным ритуалом — например, крашенные яйца, пасхальные куличи, — а гораздо чаще совершенно утрачивают с ним связь: могилу украшают цветами, венками, памятными надписями. Иногда этот обычай принимает торжественные и трогательные формы: возложение венков на гробницы и памятники погибших героев или выдающихся деятелей культуры в юбилейные дни или в дни всенародных праздников. Здесь уже начисто выметено прежнее религиозное содержание. Осталось одно — уважение к памяти умершего и наглядно-символическое его выражение.

Другой пример: превращение религиозной жертвы в праздничные подарки уже не умершему, а живым людям.

Вообще говоря, корни обычая дарения лежат совсем не в религиозной сфере. В науке хорошо установлено, что дарение — это ранняя историческая форма обмена, еще целиком окутанная личностными, кровнородственными отношениями. Казалось бы, «жертва» тут ни при чем. Но внимательный анализ фактов — особенно на примерах обычаев народов Европы — показывает, что одно и другое как-то связано: подарки живым людям и подношения предкам, вообще всем умершим, стихиям огня, земли и воды. Особенно заметно это на традиционно-ритуальном значении хлеба. Хлеб, выпеченный в определенные праздники с соблюдением ритуальных правил, издавна служил как бы жертвой домашним духам, домовому и пр., позже — христианским святым; а теперь в таких же случаях люди дарят друг другу обрядовые хлебцы или печенья. Такую же эволюцию проделали яйца — прежде предмет ритуального подношения или магическое орудие, а теперь — «писанки» и «крашенки» как взаимные подарки для детей и молодежи.

Более отдаленную, но бесспорную связь, и не только формальную, но и генетическую, обнаруживает обычай пожертвований (прижизненных или посмертных) на те или иные общественные нужды. В прошлом религиозные люди, особенно богатые, делали предсмертные вклады в монастыри «на помин души» — один из очень важных видов жертвоприношений. Теперь же в капиталистических странах, особенно в США, миллионеры делают крупные вклады в пользу культурных учреждений, музеев, научных институтов: так называемые «фонды», носящие обычно имена жертвователей (Рокфеллер, Карнеги и др.) и играющие сейчас важную роль в

материальном обеспечении научно-исследовательской деятельности. Мотивы таких пожертвований разные: и стремление к политической популярности, и психологическое тяготение к меценатству, и чувство гражданского долга, и самое деляческое побуждение — укрыть часть ценностей и доходов от налогового обложения.

В других странах распространен обычай, по которому собиратель какой-нибудь крупной коллекции, художественных ценностей и пр. перед смертью жертвует их в пользу города, государства. Эта традиция в нашей стране — как и во многих других странах — тоже имеет глубокие корни. Ведь так было положено начало знаменитому ленинградскому «Эрмитажу», составившемуся вначале из пожертвованных Екатериной II картин и позже дополнявшегося коллекциями от частных лиц. Из таких же пожертвований образовались Румянцевский музей, Третьяковская, Щукинская и другие галереи, ряд провинциальных музеев и художественных галерей.

В социалистических странах эта традиция действует и теперь с тем лишь ограничением, что у нас нет богачей, но есть любители-коллекционеры, жертвующие в дар городу или государству плоды своего многолетнего увлечения — коллекции открыток, почтовых марок, медалей, монет, значков и пр.

Здесь налицо случаи, когда даже в самом языке сохранилась историческая преемственность: от религиозных «жертвоприношений» к чисто гражданским актам «пожертвований» культурных ценностей.

11.

Опуская отдельные обычаи, в которых проявилась та же преемственность, вроде разбивания бутылки шампанского при спуске на воду нового корабля и т. п., я коснусь в заключение только одного явления, составляющего важную и сложную моральную проблему: явления аскетизма.

Практика и теория аскетизма неразрывно связана с историей религии и на ранних, и на поздних ее стадиях. Притом, как мы уже видели, аскетизм можно рассматривать как видоизмененную форму жертвоприношения, так же как это можно говорить о религиозных обычаях назорейства, монашества, отшельничества, самоистязаний и пр. вплоть до религиозного самоубийства (самосожжения). Человек добровольно причиняет себе боль, страдания, отдает свое тело и даже свою жизнь в

жертву божеству. Здесь сказывается имплицитная, а порой и прямо выраженная идея о божестве, как о некоем жестоком существе, радующемся при виде человеческой крови и страданий.

В современной философской и атеистической литературе аскетизм — как и все прочие проявления религиозности — рассматривается как нечто в корне чуждое коммунистической морали, да и вообще всякому здоровому и гуманному жизненному ощущению. «Коммунисты, стремясь привести человечество к радостной и счастливой жизни, выступают как активные противники аскетизма вообще и религиозного аскетизма в первую очередь», — пишет Р. В. Петропавловский¹³.

Но ведь есть аскетизм и совсем не религиозный, а, так сказать, гражданский. Известно много деятелей культуры, революционеров, борцов за свободу, людей великого подвига, которые вели и ведут строго аскетическую жизнь, добровольно налагая на себя суровые ограничения, подчиняя все свои действия служению... не богу, конечно, а человечеству, подчиняя их своему благородному идеалу. Типичный литературный пример — образ Рахметова в романе Н. Г. Чернышевского «Что делать?» Рахметов довел практику аскетизма до крайности, почти до изуверства, до самоистязаний вроде лежания на войлоке, утыканном сотнями гвоздей остриями вверх. Рисуя образ Рахметова, сильно повлиявший, как известно, на мировоззрение нескольких поколений русских революционеров, Чернышевский не упустил случая указать на теоретическую основу этого аскетизма, даже в крайних его формах. Устами самого Рахметова он говорил: «Так нужно. Мы требуем для людей полного наслаждения жизнью, — мы должны своей жизнью свидетельствовать, что мы требуем этого не для удовлетворения своим личным страстям, не для себя лично, а для человека вообще...»¹⁴

Эта теория, даже в таком сурово прямолинейном ее выражении, отнюдь не устарела и теперь. Можно и сегодня свидетельствовать своим личным примером, всей жизнью своей, что я не для себя лично, а для всех людей добиваюсь разумно-го счастья, светлой жизни.

Отнюдь не праздный вопрос: как мог

бы выглядеть в наши дни самый образ Рахметова с его моральными принципами?

Этот вопрос — весьма важный для всей системы коммунистической этики — заслуживает специального рассмотрения.

Из всего изложенного выше хорошо виден вывод. Начиная с эпохи капитализма, с демократизацией общественной жизни и культуры — а особенно в нашу эпоху — нарастает процесс секуляризации института жертвоприношений, выветривания его религиозного содержания, точнее, религиозного осмысления. Меняя в корне свою социологическую природу, традиционные ритуалы сохраняют, однако, свою генетическую связь с древними обрядами жертвоприношений. Это отчетливо видно, например, на эволюции погребальных обычаев, на обмене подарками, на «пожертвованиях» каких-либо ценностей, коллекций в пользу общественных организаций. Это можно было бы показать также на других примерах — хотя бы на примере сложных взаимоотношений религиозного и «гражданского» аскетизма, что могло бы составить содержание особой статьи. Вместе с тем выявленные тенденции в эволюции различных форм жертвоприношений дают возможность отобразить их исторические связи в схеме, которую читатель найдет на с. 66—67.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Богораз В. Г. ЧУКЧИ. Т. 2. Л.: Изд-во Главсевморпути, 1939.

Зеленин Д. К. КУЛЬТ ОНГОНОВ В СИБИРИ. М.-Л.: Изд-во Академии наук, 1936.

Тэйлор Э. ПЕРВОБЫТНАЯ КУЛЬТУРА. М.: ОГИЗ, 1939.

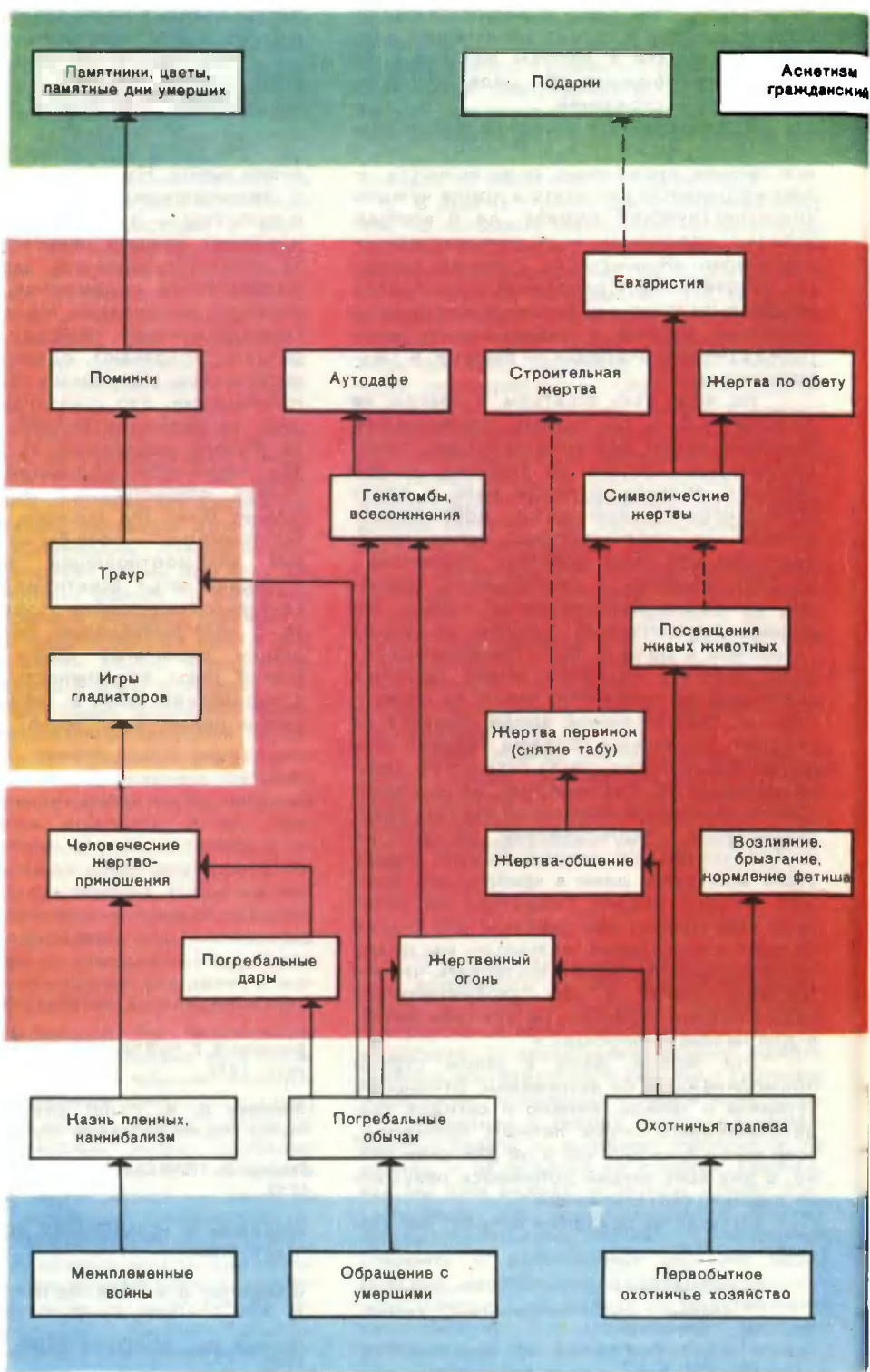
Шердаков В. Н. ИЛЛЮЗИЯ ДОБРА. М.: Политиздат, 1980.

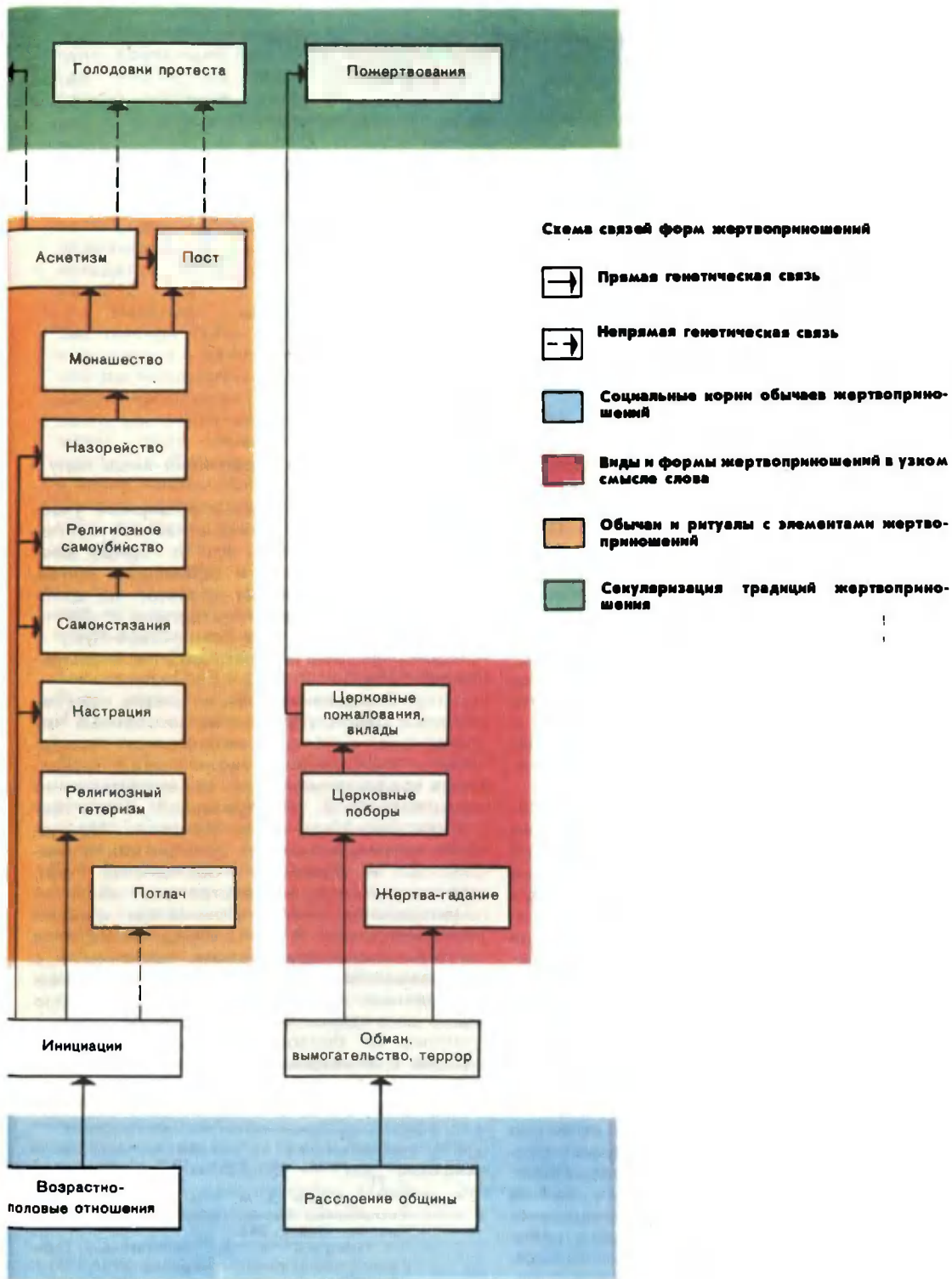
Штернберг Л. Я. ПЕРВОБЫТНАЯ РЕЛИГИЯ В СВЕТЕ ЭТНОГРАФИИ. Л.: ОГИЗ, 1936.

Фрээр Дж. ЗОЛОТАЯ ВЕТВЬ. М.: Политиздат, 1980.

¹³ Краткий научно-атеистический словарь. М., 1964, с. 32.

¹⁴ Чернышевский Н. Г. Что делать? М., 1947, с. 274.







Амфибии и рептилии Заалтайской Гоби

Л. Я. Боркин

Зоологический институт АН СССР
Ленинград

Х. Мунхбаяр,

кандидат биологических наук

Государственный педагогический институт
Улан-Батор, Монгольская Народная Республика

Д. В. Семенов

Институт эволюционной морфологии и экологии животных
им. А. Н. Седерцова АН СССР
Москва

Изучение фауны амфибий и рептилий Монголии началось еще в прошлом веке. Известные первопроходцы Центральной Азии Н. М. Пржевальский, Г. Н. Потанин, М. В. Певцов, Г. Е. Грумм-Гржимайло, В. И. Роборовский, П. К. Козлов во время своих экспедиций собирали коллекции разных животных, в том числе амфибий и рептилий. Эти герпетологические коллекции — многочисленные лягушки, жабы, ящерицы и змеи — и поныне хранятся в фондах Зоологического института АН СССР в Ленинграде. Многие виды и подвиды амфибий и рептилий были названы в честь знаменитых русских путешественников.

Хотя изучение животного мира Монголии имеет солидную историю, наиболее интенсивные зоологические исследования ведутся лишь в последнее десятилетие благодаря организации Совместной советско-монгольской комплексной биологической экспедиции. С 1971 г. экспедиция начала планомерное исследование герпетофауны Монголии, в котором приняли участие и авторы.

В 1981—1982 гг. мы имели возможность ознакомиться с фауной амфибий и рептилий Заалтайской Гоби, одного из наиболее интересных и богатых видами районов Монголии. Заалтайская Гоби до сих пор наименее изучена, особенно в своей западной части: маршруты русских географических экспедиций Пржевальского и Козлова проходили только по восточной части региона, а специалист по фауне Монголии А. Г. Банников, работавший в 1942—1945 гг. в восточной, южной и западной частях Заалтайской Гоби,

собирав амфибий и рептилий лишь попутно¹.

Заалтайская Гоби — обширный участок великой центрально-азиатской пустыни — расположена к югу от горных массивов Монгольского и Гобийского Алтая. На востоке ее граница проходит по хребту Хурху, на западе она отделена от Джунгарской Гоби горами Тахин-Шара-Нуру и Адж-Богдо, а на юге переходит в Алашаньскую Гоби.

«Заалтайская Гоби — резко пересеченный район, глухой и не заселенный человеком, с малым количеством колодцев и еще меньшим количеством наружных водоисточников», — так характеризует ее географ Э. М. Мурзаев², много лет посвятивший изучению Монголии. Не менее мрачно описывает этот регион и геолог В. М. Синицын: «Заалтайская Гоби, являясь одной из внутренних областей Центральной Азии, отличается крайней пустынностью. В ней отряд встретился с огромными трудностями, связанными с маловодностью территории, отсутствием населения, ограниченной проходимость для автомашин и значительной удаленностью от бензозаправочных пунктов, а также с тяжелыми климатическими условиями (изнуряющая жара и сухость воздуха)»³.

¹ Банников А. Г. — Бюлл. Моск. общ-ва испыт. прир., сер. биол., 1958, т. 68, вып. 2, с. 71.

² Мурзаев Э. М. Монгольская Народная Республика. Физико-географическое описание. М., 1948, с. 283.

³ Синицын В. М. Заалтайская Гоби. Геологическая рекогносцировка летом 1951 г. М., 1956, с. 3.

Морозная зима с температурой воздуха, доходящей до -34°C , и жаркое лето (до $+42^{\circ}\text{C}$, на почве — до $+70^{\circ}\text{C}$), резкие суточные колебания температуры (до 30°C), незначительное количество осадков (30—110 мм в год), сильные ветры, песчаные бури — вот основные черты местного климата. «Суровые условия господствующего здесь резко континентального климата настолько ограничивают жизнедеятельность растений, что они здесь находятся на пределе своего существования»⁴.

Наиболее характерный ландшафт Заалтайской Гоби — каменная пустынная равнина и разноцветные сопки со скудной растительностью. Лишь изредка встречаются небольшие родники, вода в которых часто настолько соленая, что жить в ней могут лишь немногие беспозвоночные животные. Трудно представить себе, что в таких местах обитают земноводные, постоянно нуждающиеся во влаге и в большинстве своем откладывающие яйца в воду. И все же в двух небольших «оазисах» мы нашли монгольскую жабу (*Bufo gaddei*). Один из «оазисов», Эхэн-Дзадгай, укрылся среди живописного мелкосопочника. В наш приезд (август 1982 г.) воды в нем не было; лишь местами сохранились темные пятна сырого песка — это лето было засушливым даже для пустыни! И однако во влажном грунте под камнями и в дерновине злаков мы поймали 6 жаб. Другой «оазис» представлял собой небольшую площадку зеленой травы с лужей пресной воды в центре. Здесь мы нашли только одну взрослую жабу. Обитание в таких родничках — это, несомненно, яркий пример приспособления к экстремальным условиям жизни. Что позволяет здесь выжить жабам, как они спасаются от засух, как попадают в такие роднички, разделенные десятками километров пустыни, — эти и многие другие вопросы, связанные с биологией амфибий в крайне засушливых районах, еще ждут своего решения.

Если встреча с амфибиями в Заалтайской Гоби — явление из ряда вон выходящее, то ящерицы здесь попадаются повсюду. А наиболее широко распространенную — пеструю круглоголовку (*Phrynoscephalus versicolor*) — мы находили буквально на каждой своей стоянке. Эта небольшая ящерица семейства агамовых в

Заалтайской Гоби обитает на каменистых и песчаных равнинах с любым типом растительности, на сопках, в ущельях гор, заходит она и в оазисы. Нет ее, пожалуй, только на скалах. Плотность этого вида в разных биотопах колеблется от 2 до 100 особей на 1 га в зависимости от того, насколько благоприятны для него условия существования. На пустынном стационаре Советско-монгольской биологической экспедиции, расположенном в оазисе Эхийн-Гол, где уже в течение нескольких лет ведутся комплексные исследования биоценозов разных типов пустынь, мы провели учеты абсолютной численности круглоголовки на 6 участках, соответствующих разным типам пустынных биотопов.

Эта территория, расположенная от 700 до 2100 м над ур. м., представляет собой 3 типа пустынь: крайнезасушливую, настоящую и остепенную. Обследованные нами 6 участков отличаются и субстратом, и характером растительности, и численностью обитающих там круглоголовок. Так, в каменистых полях с очень редкой растительностью плотность этих ящериц наименьшая — около 5 особей на 1 га; но там, где на каменистом субстрате есть саксаул и эфедра, плотность круглоголовок увеличивается более чем в 6 раз. Близкая к этой плотность круглоголовки (около 25 особей на 1 га) и на супесчаном грунте, поросшем мелким кустарником, вокруг которого образуются приствольные песчаные наносы. На участках тоже с супесчаным грунтом, но с зарослями саксаула плотность круглоголовки самая высокая — до 56 особей на 1 га. И наконец, в двух последних биотопах — с суглинистой почвой, поросшей мелким кустарником и довольно обильной травянистой растительностью, а также в остепенной пустыне с супесчано-легкосуглинистой почвой, густо поросшей травой (но без кустарников), — на каждом гектаре в среднем встречается 49 круглоголовок.

Круглоголовки активны в широком диапазоне температур (мы встречали активных особей при температурах от 20 до 40°C), держатся на поверхности даже во время дождя. Убежищами им служат собственные неглубокие норки. Как и многие другие представители рода, пестрая круглоголовка питается в основном муравьями. По-видимому, это объясняется тем, что муравьи — наиболее многочисленные насекомые открытых пространств пустыни, где в основном охотятся круглоголовки. К тому же ловить более подвижных, летающих или живущих на кустах членисто-

⁴ Банников А. Г., Мурзаев Э. М., Юнатов А. А. — Изв. Всес. геогр. об-ва, 1945, т. 77, вып. 3, с. 135.



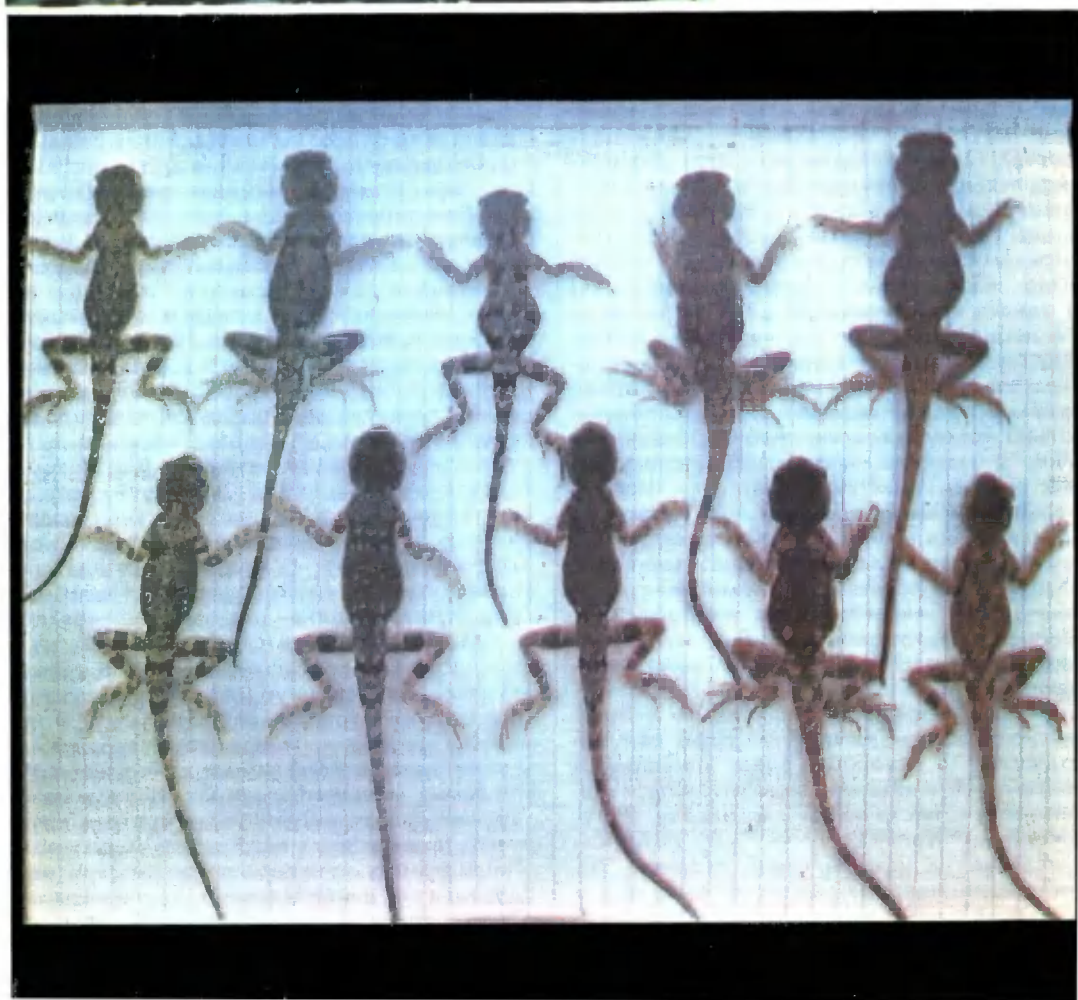
Монгольская жаба.

Пестрые круглоголовки необыкновенно разнообразны по окраске.

Алтайская агама.

Гобийская ящурка.

Самка глазчатой ящурки, ожидающая потомство.





ногих пестрой круглоголовке трудно. Случается, иногда она поедает и мягкие части растений.

Вряд ли можно назвать другой вид ящериц, столь же изменчивый по окраске и рисунку, как пестрая круглоголовка. Не всегда поверишь, что два экземпляра, отловленные в одном месте, относятся к одному виду — так существенно они различаются по окраске. У ящериц почти нет элементов рисунка, в равной степени выраженных у всех особей: черные, красные, белые, синие пятна; глазки, крапинки; продольные, поперечные и извитые полосы образуют бесконечное многообразие сочетаний. Несмотря на такую пестроту окраски и ее яркость, оказывается, что круглоголовка окрашена покровительственно: неподвижно сидящую ящерицу заметить бывает очень трудно. Это объясняется мозаичностью окраски субстрата каменной пустыни, составленного из камней разных цветов и размеров. Интересно, что окраска круглоголовки в некоторой степени связана с преобладающим цветом субстрата в местах их обитания: на каменной равнине, покрытой черным базальтом, чаще встречаются особи черной и свинцово-серой окраски; среди красноватых камней преобладают ящерицы с красными и бурными пятнами на общем красноватом фоне; на зеленовато-сером песке встречаются круглоголовки с металлическим зеленоватым блеском или оливковым фоном.

Горы в Заалтайской Гоби старые, относительно невысокие; в ущельях и на склонах с густыми зарослями кустарников — тамариска, караганы, шиповника — много валунов. В таких местах можно встретить гораздо более редкую, чем круглоголовка, ящерицу — алтайскую агаму (*Agama stoliczkae altaica*). Это — самая крупная монгольская ящерица: взрослые самцы достигают общей длины 38 см. Как и другие агамы, алтайская очень эффектно окрашена — черные и серые неровные поперечные полосы чередуются с оранжевыми или желтыми пятнами. Охотится она на крупных беспозвоночных, в том числе жуков, прямокрылых, паукообразных; питается и растительной пищей — в период цветения караганы охотно поедает ее цветки.

Наиболее представительная группа ящериц в этих местах — ящурки (род *Egernias*). Эти животные наиболее соответствуют обиходному представлению о ящерицах — стройное гладкое тело, длинный, легко отбрасываемый при опасности

быть пойманной хвост, удлиненная голова, покрытая сверху крупными щитками. Из-за удлиненного тела, изгибающегося при беге, монголы называют этих ящериц «могой-гурвэл» — ящерица-змея.

Среди ящурок Заалтайской Гоби нет узкоспециализированных форм (каковы, например, выкапывающая добычу из песка сетчатая ящурка или охотящаяся в кронах деревьев и кустов полосатая ящурка в Средней Азии). Все обитающие в Монголии ящурки добывают пищу сходным образом, придерживаются одинаковых биотопов и активны в общем при одних и тех же температурах. Ясно, что такие экологически эквивалентные (предъявляющие сходные требования к среде) виды при совместном обитании вступили бы в острую конкуренцию, в результате которой один из них вытеснил бы другой. Очевидно, поэтому только в редких случаях мы находили два совместно обитающих вида ящурок.

В Заалтайской Гоби много бугристых участков, поросших кустарником. Обычно это — селитрянки сибирская, «пустынный виноград» — колючий кустарник с сочными листьями и густо переплетенными ветвями, на которых во второй половине лета вызревают сладковатые мелкие плоды. Стелющиеся ветви задерживают песок и постепенно вокруг куста образуется холм, иногда достигающий высоты нескольких метров: на его вершине раскинуты зеленые побеги, а сухие ветви засыпаны песком. Эти бугры служат излюбленным пристанищем ящурок: рыхлый грунт с переплетением корней и веток удобен для рытья нор, стелющиеся колючие побеги обеспечивают укрытие от палящих солнечных лучей и от хищников (отлов ящурок был немалой проблемой и для нас), в кроне куста обычно много насекомых, которыми питаются ящурки, да и сама селитрянка, точнее ее плоды и молодые побеги, также служат кормом для этих рептилий.

Чаще других в зарослях встречается крупная, массивная гобийская ящурка (*E. przewalskii*), достигающая длины 9,8 см (без хвоста). Этот вид обитает и на территории СССР — в Туве. Несмотря на внешнюю неуклюжесть, гобийская ящурка часто взбирается на кусты, где «пасется», поедая ягоды и молодые листья. Мы находили особей, обкусывающих даже побеги саксаула. Интересная особенность биологии этого вида — яйцеживорождение: в отличие от большинства других настоящих ящериц, самка гобийской ящурки не откладывает яиц, а раз в сезон приносит до 6 детенышей.

Еще одна яйцеживородящая ящурка — глазчатая (*E. multiocellata*). На своем обширном ареале этот изменчивый вид образует несколько форм, систематика которых в настоящее время окончательно не установлена. Не выяснено таксономическое положение и глазчатых ящурок из Заалтайской Гоби.

Широко распространенная в Монголии монгольская ящурка (*E. argus*) в Заалтайской Гоби известна лишь по единичным находкам. А центральноазиатская ящурка (*E. vermiculata*), наоборот, не встречается в Монголии почти нигде, кроме Заалтайской Гоби, но численность ее здесь довольно высока, а плотность в отдельных биотопах может достигать 50 особей на 1 га. Это одна из наиболее теплолюбивых ящериц Заалтайской Гоби. В условиях стационара Эхийн-Гол она активна только при температуре выше 30°C, в прохладные дни вообще не появляется на поверхности. Охотится на мелких беспозвоночных, тщательно обследуя трещины, углубления, норки в основаниях кустарников, ловко ловит насекомых налету; в кронах не охотится, но взбирается на кусты дерезы и селитрянки в период плодоношения; в это время ягоды становятся основным кормом, по крайней мере, для некоторых ящурок.

Только в начале 60-х годов было установлено, что в Монголии, в Заалтайской Гоби, обитает одна из наиболее ярких и запоминающихся ящериц Центральной Азии — сцинковый геккон Пржевальского (*Teratocincus przewalskii*). Зоологам долгое время не удавалось заметить этого крупного геккона, поскольку он выходит из укрытий только ночью; в отличие от других гекконовых ящериц, он не издает звуков, а его напоминающие звездочки следы известны лишь немногим исследователям. Найти этих ящериц можно, если их специально искать.

...Луч фонаря медленно скользит по песчаному участку пустыни, вдруг в основании куста рубиновым огнем вспыхивает неподвижная точка. Это геккон Пржевальского смотрит на неожиданно появившийся источник света. Если осторожно, чтобы не спугнуть, приблизиться к кусту, в освещенном кругу можно рассмотреть и самого геккона, застывшего в настороженной позе под гипнозом света. Как и среднеазиатский сцинковый геккон (*T. scincus*), геккон Пржевальского, насторожившись, приподнимается на выпрямленных лапах и вертикально поднимает мясистый, короткий хвост. В такой позе животное с массивной головой и крупными глазами приобре-

тает некоторое сходство с миниатюрной собакой. Очевидно, за это в Монголии и называют ящерицу «нохой-гурвэл» — ящерица-собака.

В Заалтайской Гоби геккон Пржевальского распространен широко. Обычно он держится на песчаных участках (здесь его плотность может достигать 15—20 особей на 1 га), но заходит и на каменистую равнину — гаммаду, где мы насчитывали в среднем 1—2 особи на 1 га. Гекконы Пржевальского сами копают норы, но изредка используют и норы грызунов. Короткие пальцы с гребешками по краям и короткие коготки хорошо приспособлены для рытья. Такая способность характерна для рода *Teratoscincus*, другие гекконы рыть не умеют. Любопытно, что, спасаясь от преследования, сцинковый геккон Пржевальского может легко забираться на кусты — на высоту до 80 см.

Как и многие другие, гекконы Пржевальского ведут оседлый образ жизни — большинство из них имеют стабильные индивидуальные участки, на которых живут не только в течение лета, но и на следующий год, после зимовки. Но охраняемых участков у гекконов Пржевальского, очевидно, нет (древесные гекконы обычно оберегают свои участки, изгоняя сородичей).

Питаются гекконы Пржевальского в основном жуками — чернотелками, хрущами, долгоносиками. Поедают и других насекомых, а также крупных паукообразных — скорпионов, фаланг, а в террариуме нападают даже на мелких ящериц.

В Заалтайской Гоби у сцинковых гекконов немного врагов: здесь мало змей, ночных хищных птиц и млекопитающих. По всей видимости, главным врагом геккона Пржевальского — ушастый еж. Как и у среднеазиатского сцинкового геккона, у геккона Пржевальского отброшенный хвост долго извивается (до 20 минут), при этом в результате трения друг о друга крупных чешуй слышен громкий шуршащий звук. Предполагают, что «звучащий» хвост отвлекает внимание хищника и это дает геккону дополнительный шанс для спасения.

Еще один недавно обнаруженный в Монголии геккон — гобийский голопалый геккон (*Gymnodactylus elongatus*) — благодаря скрытному образу жизни ускользал от внимания зоологов до 1976 г.⁵ Поэтому

биология его почти не изучена, а хранящиеся в музеях экземпляры известны наперечет. Это и неудивительно — гобийский голопалый геккон живет в немногих труднодоступных местах — ущельях, останцах, где скрывается в трещинах скал, пещерах, под камнями. Таких убежищ в скалистых ландшафтах множество, но из большинства из них достать геккона невозможно. Следов жизнедеятельности — сброшенной при линьке шкурки, скорлупы яиц, экскрементов — геккон на поверхности почти не оставляет. Так что иногда даже нельзя с уверенностью сказать, живет ли он в данном месте или нет. Правда, один раз нам повезло: когда мы возвращались после безуспешных поисков геккона, в одном из ущелий со скалы буквально скатилась нам под ноги стрела-змея, только что поймавшая гобийского геккона, которого она, очевидно, нашла в одной из трещин скалы. Конечно, этот экземпляр мы у нее отобрали и поместили в коллекцию.

Гобийский голопалый геккон отличается от сородичей, обитающих в Средней Азии, — каспийского, туркестанского и серого — более стройным телом, длинными, тонкими конечностями, более длинным и очень подвижным хвостом (отсюда «*elongatus*» — удлинённый), а также мелкозернистой чешуей и вздутыми носовыми щитками, придающими голове геккона некоторое сходство с крокодилей.

В Заалтайской Гоби встречается еще одна гекконовая ящерица — пискливый геккончик (*Alsophylax pipiens*), широко распространенный и в СССР.

Заканчивая рассказ о ящерицах, нельзя не упомянуть периодически появляющиеся сообщения о варане в Южной Монголии. К сожалению, до сих пор среди очевидцев не было специалистов; никому из видевших это животное не удалось его отловить или сфотографировать. Так что обитание варанов в Заалтайской Гоби мы считаем весьма проблематичным. Возможно, за них принимают крупные экземпляры других ящериц, например агам.

А теперь — о змеях. Если по сравнению с пустынями Средней Азии численность и количество видов ящериц в Заалтайской Гоби низки, то змей здесь просто на удивление мало. Это объясняется, в первую очередь, суровыми зимами и недостатком мест для зимовки. Даже наиболее обычные виды встречаются здесь исключительно редко. Биология всех змей в связи с этим изучена недостаточно.

Обычно в пустынях Средней Азии за одну экскурсию можно встретить 5—

⁵ М о н х б а я р Х. Новые данные о распространении некоторых амфибий и рептилий Монгольской Народной Республики. — В кн.: Фауна и экология амфибий и рептилий Палеарктической Азии. Л., 1981, с. 52.



Стрела-змея, поедающая гобийского голопалого геккона.



Сцинковый геккон Пржевальского: взрослый и молодой (справа).



6 экземпляров, а иногда и гораздо больше, стрелы-змеи (*Psammophis lineolatum*), а в окрестностях стационара Эхийн-Гол мы находили всего 2—3 стрелы-змеи в месяц! Остается лишь удивляться, как вообще

существуют популяции заалтайских змей при столь низкой плотности.

Две другие змеи — узорчатый полоз (*Elaphe dione*) и обыкновенный щитомордник (*Agkistrodon halys*) — попадаются в основном в северных районах Заалтайской Гоби. Лишь однажды нам удалось найти редкую и, пожалуй, наиболее красивую змею в здешних местах — полосатого полоза (*Coluber spinalis*). Стройное тело и



Полосатый полоз.



Гобийский голопалый геккон.

молниеносные движения сближают его со стрелой-змеей, но окраска гораздо более яркая; особенно выделяется желто-красно-белая продольная полоса, идущая вдоль хребта.

Только в Заалтайской Гоби встречается и восточный удавчик (*Eryx tataricus*). Нам очень редко удавалось найти этих удавчиков, зато их регулярно приносили местные жители и сотрудники стационара. Дело в том, что в поисках мелких грызунов и укрытия от дневного зноя (летом удавчики активны только ночью) они часто заползают в юрты, палатки, постройки, где их и удается поймать.

Несколько слов об охране амфибий и рептилий Заалтайской Гоби. Это — наименее населенная часть Монголии, где основная форма хозяйственной деятельности — традиционное скотоводство — не наносит существенного вреда окружающей среде. В настоящее время амфибии и рептилии не подвергаются здесь отрицательному воздействию со стороны человека. Таким образом, никаких опасений судьба амфибий и рептилий Заалтайской Гоби сейчас не внушает. Однако из-за низкой численности и незначительных ареалов некоторые виды, как потенциально уязвимые, включены в подготовленную к изданию «Красную книгу МНР»; в их числе гобийский голопалый геккон, восточный удавчик и полосатый полоз. В 1975 г. на юге Монголии создан Большой гобийский биосферный заповедник, на территории которого охраняются места обитания 11 из 14 видов рептилий Заалтайской Гоби.

АЛЕКСАНДР ЕВГЕНЬЕВИЧ ФЕРСМАН

К 100-летию со дня рождения



АЛЕКСАНДР ЕВГЕНЬЕВИЧ ФЕРСМАН
27.X (8.XI) 1883 — 20.V 1945

Мне доставляет большое удовольствие представить читателям журнала «Природа» подборку материалов, посвященную 100-летию со дня рождения Александра Евгеньевича Ферсмана — выдающегося советского геолога, минералога и геохимика, ученика и друга В. И. Вернадского. О Ферсмани уже написано и еще будет написано много статей и книг. Потому что был он человеком ярким, интересным; ученым, влюбленным в свою науку, неутомимым путешественником, замечательным популяризатором

научных знаний, вдохновенным оратором, крупным организатором науки и производства, горячим патриотом. В опубликованной издательством «Наука» в 1964 г. библиографии «Александр Евгеньевич Ферсман» приведены названия 282 книг, очерков, статей и заметок, в которых так или иначе освещается жизнь Ферсмана и его замечательные труды. Среди этих публикаций статьи академиков Х. М. Абдуллаева, Д. С. Белянкина, В. И. Вернадского, А. П. Виноградова, С. И. Вольфовича, Н. Д. Зелинского,

В. Л. Комарова, В. А. Обручева, Н. Н. Семенова, А. В. Сидоренко, В. И. Смирнова, С. С. Смирнова, В. И. Спичина, П. И. Степанова, Л. В. Таусона, А. В. Шубникова, Д. И. Щербакова, очерки учеников и друзей Александра Евгеньевича, большая монография писателя О. Н. Писаржевского «Ферсман», дважды публиковавшаяся в 1955 г. и в 1959 г. издательством «Молодая гвардия» в широко известной серии «Жизнь замечательных людей».

За прошедшие после опубликования биобиблиографии А. Е. Ферсмана почти 20 лет в печати появилось много новых статей о нем, а в 1968 г. издательством «Наука» в серии «Научно-биографическая литература» была опубликована научная биография Ферсмана, написанная его учеником А. И. Перельманом. Сейчас, в связи со столетием со дня рождения А. Е. Ферсмана, в разных журналах, несомненно, будут опубликованы новые интересные статьи о нем, о его творческих исканиях и о его замечательной практической деятельности. Среди них заметное место должна занять публикуемая в этом номере подборка. Ее открывает отрывок из нестареющей популярной статьи молодого, но уже сложившегося исследователя Ферсмана «За цветными камнями», написанной в 1912 г. для только что созданного журнала «Природа». Долгие годы Ферсман был тесно связан с «Природой», участвовал в организации журнала, был одним из его редакторов с 1917 по 1930 г. и активнейшим автором с года основания до конца своей жизни. Публикуемый отрывок очень показате-

лен. В нем хорошо видно, как можно, не впадая в вульгаризацию, увлекательно, просто и ярко рассказать о сложнейших геологических процессах. Блестящий пример для нынешних естествоиспытателей, пытающихся популяризировать науку. О разработке научных предвидений Ферсмана, развитии его геохимических идей пишет В. С. Урусов в статье «Почему их только две тысячи!» Тонкий знаток камня, Ферсман поэтическими книгами по минералогии пробудил интерес к минералам у нескольких поколений людей. Не случайно число знатоков любителей и собирателей камней растет с каждым годом, и символично, что юбилею Ферсмана была посвящена очередная выставка «Удивительное в камне», ежегодно проводящаяся Московским обществом испытателей природы, о которой говорится в заметке Т. Б. Здорик.

Портрет Александра Евгеньевича Ферсмана, прекрасного обаятельного человека, которого нельзя было не любить и общение с которым было подлинным счастьем, рисует в своих воспоминаниях Г. С. Грицаенко.

Мне также довелось работать с Ферсманом в последние годы его жизни, совпавшие со временем Великой Отечественной войны. Этот период освещен в литературе менее всего, и я посчитал своим долгом в меру моих возможностей восполнить этот пробел.

Академик А. Л. Яншин,
вице-президент АН СССР,
президент Московского общества испытателей
природы

За цветными камнями*

А. Е. Ферсман

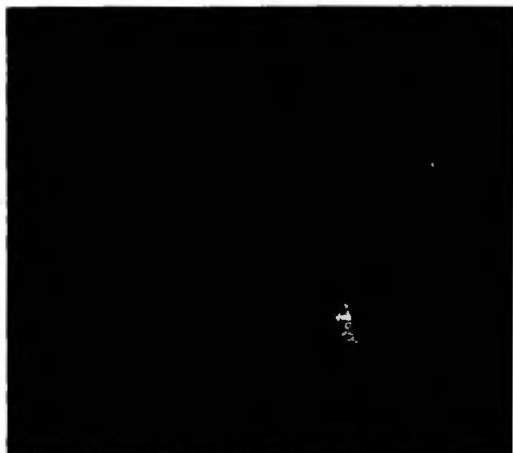
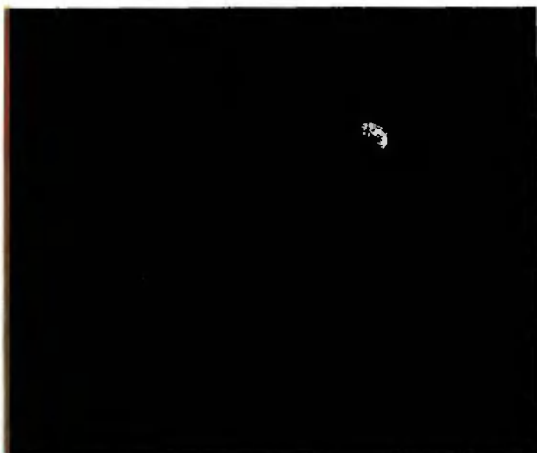
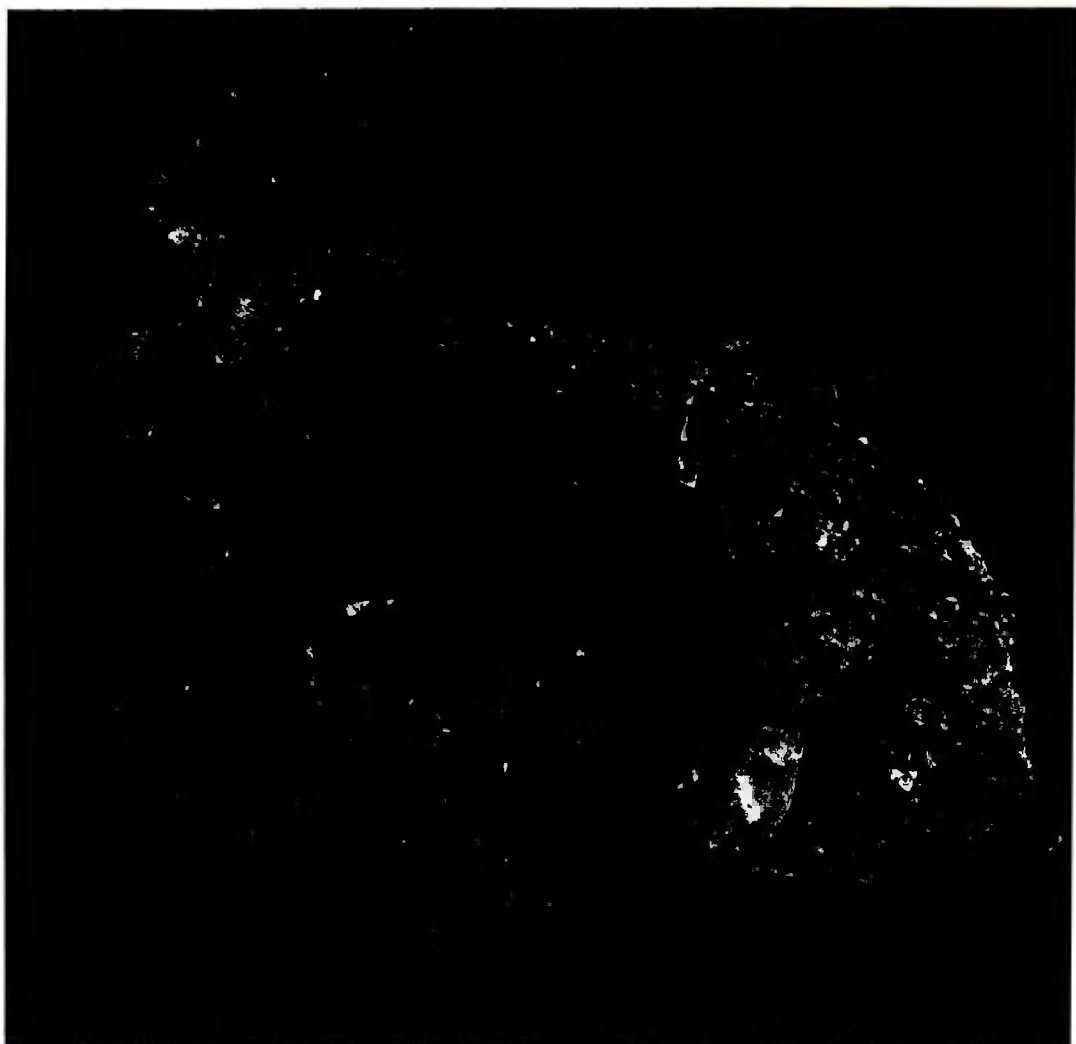
...Грустно смотреть на вымирание цветного промысла. Но пока еще не поздно, пока не заросли лесом последние копи, пока не обвалились последние шахты и еще копаются старые копачи, необходимо русским минералогам обратить серьезное внимание на эти месторождения, описать и изучить их минералы и условия образования последних. К стыду русских ученых эти классические месторождения остаются совершенно неизученными; гордость Урала, единственные по своему богатству и красоте в Европе и Азии копи цветных

минералов не только не описаны, но и мало кем посещались из русских минералогов.

А между тем эти месторождения заслуживают детального научного исследования. Они открывают перед нами странички из химического прошлого Урала и развертывают грандиозные картины процессов, скрытых в настоящее время под сплошным покровом леса и черноземных пашней.

Время образования этих месторождений цветных камней нам приходится искать еще в те далекие геологические эпохи, когда Урал собирался в могучие складки и медленно с востока на запад напоздали пласты на пласты, сдерживаемые незыблемой и совершенно спокойной платформой Среднерусской равнины. Вся свита древних отложений, начиная с эпох, скры-

* Заключительная часть статьи А. Е. Ферсмана «За цветными камнями», опубликованная в сентябрьском номере журнала «Природа» за 1912 г.

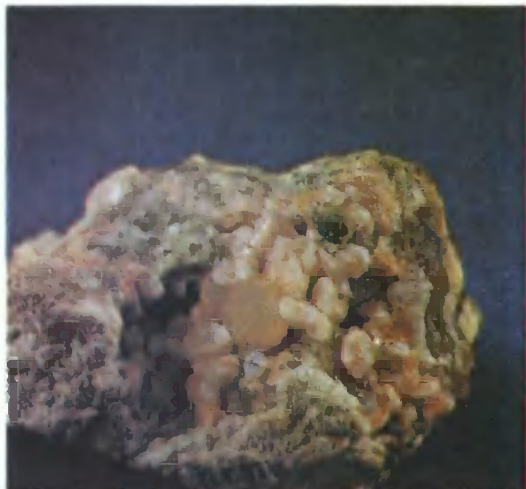


Минералы, изучавшиеся А. Е. Ферсманом. Вверху — жвада с кристаллами целестина (окрестности г. Кисловодска). Внизу слева — сросток пластинчатого альбита с друзой дымчатого кварца (копь Монруша, Урал). Внизу справа — кристалл амазонита в кварце (Ильменские горы, Южный Урал).

4

Минералы, изучавшиеся А. Е. Ферсманом. Вверху — кристаллы гмелинита внутри полости в дюрите (Крым); этот минерал впервые был описан А. Е. Ферсманом в 1908 г. В центре — калий-натриевый ломонтит (Крым), описанный А. Е. Ферсманом в 1907 г. Внизу — кристаллы шабазита (Забайкалье); из сборов А. Е. Ферсмана 1914 г.

▷



тых от нас во мраке геологического прошлого, и кончая силуром и девоном, беспомощно ломалась под напором сил с востока, поднималась в крутые складки и опрокидывалась на голову. Мощные потоки изверженных пород находили себе выход среди этих смятых слоев; то они застывали, вливаясь сплошным потоком между слоями, то подымались на поверхность в виде жил и разливались, как лавы. Местами расплавленные массы пропитывали старые осадки и этим перекристаллизовывали и изменяли их, местами они растворяли в себе обломки или целые слои захваченных по пути пород и, обновленные в своем составе, застывали потом в виде совершенно новых и своеобразных горных пород. Так сменялись одни химические процессы другими, и в течение долгих геологических эпох, вероятно, еще задолго до каменноугольного периода, на месте современного Урала «было неспокойно». В талантливом обзоре лика земли Зюсс¹ красиво рисует грандиозность этих картин, и поднятие Урала в конце каменноугольной эпохи ему представляется лишь как наиболее резкий и последний пароксизм мощного и долго тянувшегося геологического процесса.

Среди всех изверженных пород Урала наше особое внимание привлекают граниты; в них главная основа всего восточного склона, от них главные богатства металлов и драгоценных камней Урала. Часть их вылилась в виде куполов или застыла в глубинах еще раньше, чем оконча-

¹ Имеется в виду основной научный труд австрийского геолога Э. Зюсса «Лик Земли», т. 1—3, 1883—1909 гг. (Прим. ред. 1983 г.)

тельно замер Уральский хребет; и эти граниты вместе со всеми своими жилами и включениями испытали судьбу других пород Урала и мало-помалу, путем медленной перекристаллизации превратились в гранитогнейсы с ясно выраженным слоистым строением.

Это старшее поколение гранитов, и в них, так же как и в Мурзинке², встречаются на юге в области Ильменских гор жилы с драгоценными бериллами и топазами.

Но кроме этих гранитогнейсов, мы видим на Среднем Урале серые мощные массы гранитов другого типа, они-то и принесли с собой из глубин значительные массы различных более редких химических элементов, и с их историей связано происхождение цветных камней в области Мурзинки и Адуя³.

Среди постоянных, но медленных процессов горообразования расплавленные гранитные магмы медленно застывали, и в строгой определенности выделялся из них минерал за минералом. Но подобно тому как молоко, отстаиваясь, собирает на своей поверхности более жирные составные части, так и гранитная магма еще в жидком состоянии делилась на химически разнообразные участки; она, как говорят в петрографии, дифференцируется. Более основные, богатые магнием и железом минералы собирались вместе и выкристаллизовывались раньше; оставалась более кислая, т. е. более богатая кремнекислотой (кварцем) расплавленная масса. В ней накапливались пары летучих соединений, к ней стягивались ничтожные количества рассеянных во всей магме редких элементов, значительные массы диссоциированной воды пропитывали ее.

С поверхности гранитная масса начала уже застывать, но образовавшаяся тонкая пленка рвалась и делилась трещинами, скопившиеся под ней пары то и дело прорывали ее и открывали доступ снизу другим массам расплавленной породы. В этих трещинах поверхностного охлаждения собирались остатки магмы, богатые кремнекислотой, сюда проникали пары воды и летучих соединений, и медленно, согласно законам физической химии, застывали и закристаллизовывались эти массы, образуя так называемые пегматитовые жилы. Эти жилы, как ветви дерева, расходились в стороны от гранитного очага, про-

резали в разных направлениях поверхностные части гранитного массива, врывались в сковывающую оболочку других пород.

Мы теперь знаем довольно точно, что кристаллизация таких жил шла приблизительно при 500—600°C; здесь уже не было больше сплава в полном смысле этого слова, не было и чистого водного раствора — это было особенное состояние взаимного растворения и насыщения огромными количествами паров и газов. Но затвердевание этих жил шло далеко не просто и не скоро; оно начиналось по стенкам прикосновения с чужими породами и медленно шло к середине, все более суживая свободное пространство жилы; в иных случаях получались крупнозернистые массы, в которых отдельные кристаллы кварца и полевого шпата достигали величины аршина, а пластинки черной или белой слюды — размеров большой тарелки; в других — отдельные минералы сменялись в строгой последовательности, но чаще всего получались те удивительные структуры, которые принято называть пегматитами...

Такие пегматитовые структуры от мельчайших, едва уловимых глазом размеров до гигантских форм выделения, где величина кристаллов полевого шпата и кварца достигает четверти аршина, являются главнейшими и самыми важными породами пегматитовых жил Мурзинской области. По ним догадывается копщик о возможности нахождения пустот с цветными камнями, по ним судит минералог о характере и условиях образования жилы; ведь пегматитовые структуры являются продуктами закономерного физико-химического процесса, и современная физическая химия учит нас, что эта структура появляется лишь в том случае, если соотношение кварца и полевого шпата строго определено и образует так называемую эвтектическую смесь.

Но образованием красивых пегматитов еще не заканчивается заполнение жилы. Очень часто между обеими стенками еще сохранился пустой промежуток или в форме узкой щели, или в виде целой пустоты.

Здесь в этих пустотах начинают кристаллизоваться все те элементы и соединения, которые в форме летучих паров насыщали расплавленную массу или же в ничтожнейших количествах были рассеяны в магме; по стенкам пустот и трещин вырастают красивые кристаллы дымчатого кварца и полевого шпата; пары борного ангидрида скопляются в иголочках турма-

² Мурзинка — известное уральское месторождение цветных камней. (Прим. ред. 1983 г.)

³ Адуя — река на Урале. Район Адуя входит в зону распространения цветных камней. (Прим. ред. 1983 г.)



А. Е. Ферсман в группе ассистентов академика В. И. Вернадского. Сидят (слева направо) — В. В. Кандеев, В. И. Вернадский, П. К. Алексат; стоят — Г. О. Касперович, А. Е. Ферсман. 1911.

лина, то черного, как «уголь», то красивых красных и зеленых тонов; летучие соединения фтора образуют голубоватые, прозрачные, как вода, кристаллы топаза; щелочи, литий, рубидий и цезий выстилают полости огромными шестигранными кристаллами литиевой слюды, тогда как бериллий входит в состав зеленых и голубых аквамаринов. Пестрой красивой картиной переплетаются между собой эти образования, и всей их красотой и ценностью обязаны они четырем главнейшим и наиболее важным элементам этих жил — фтору, бору, бериллию и литию. Каждый из этих четырех благородных элементов играет свою роль в истории образования цветных

камней. В одних жилах преобладает бор и вся порода этой жилы проникнута черным турмалином, в других скопляется бериллий и кристаллы винножелтого берилла не только выстилают полости трещин, но и сплошь пропитывают своими длинными кристалликами всю полевошпатовую породу.

Эти четыре элемента и целая плеяда других металлов, входящих в состав более редких минералов, иногда образующих мельчайшие, совершенно еще неизученные кристаллики, попадают в жилу из глубин, из внутренних очагов самого гранита. Но не только от них зависит характер минералов пегматитовой жилы: поднимаясь и пробивая себе дорогу, расплавленная гранитная магма захватывает обломки пород, встреченных по пути, и, растворяя их в себе, она неизбежно приводит к новым минеральным комбинациям. Если встречаются известняки, то турмалины приобретают красную окраску, связанную с высоким содержанием кальция, если прорезаются змеевики или другие магнезиальные породы, получают особую рода полевые шпаты, а турмалины делаются бурыми. Целый ряд законностей связывает между собой характер жильных минералов с теми физи-

ко-химическими процессами, которые положили им начало...

Так образовались цветные камни в пегматитовых жилах Мурзинской области.

...Но мало-помалу застыли глубинные очаги магм, замерли горячие водные растворы в жилах, прекратилось выделение паров различных соединений. Замер Урал, и мощные деятели поверхности начали свое разрушительное действие, снося горные цепи, разрушая и смывая пласты и жилы. Превратились горные страны в равнины, превратились гранитные массивы в золотосные пески и плодородные пашни; органическая жизнь со всеми своими химическими деятелями подчинила себе верхние горизонты равнины и превратила их в плодородную почву. Из рек, ручьев и болот глубоко проникает вода внутрь Земли и

с нею разрушительные деятели: угольная кислота, кислород и органические кислоты. По мельчайшим трещинам и капиллярам проникает она внутрь гранитов, превращает полевые шпаты в глинистые массы, извлекает и окисляет железо; потекли эти воды по пустотам пегматитовых жил, заполнили их бурой глиной, продуктом разрушения окружающих пород, вытравив кристаллики берилла и кварца или покрыли стенки трещин тоненькой пленкой вторичных минералов.

...Сплошной лесной и почвенный покров закрыл почти непроницаемой пеленой следы былых грандиозных химических процессов, и трудно путнику в этой равнине, среди лишь отдельных «ёлтышей» (обломков) гранитных скал, догадаться о тех картинах, которые рисуются нам из прошлого цветных камней Мурзинской области...

Почему их только две тысячи!

В. С. Урусов,

доктор химических наук

Институт геохимии и аналитической химии
им. В. И. Вернадского АН СССР
Москва

На страницах популярных сочинений А. Е. Ферсмана мы часто встречаем восторженные восклицания: «Какое разнообразие! Какое богатство! Целый мир минералов!» Так «поэт камня» воспринимал многообразие красок и форм окружающей нас неживой природы.

Ферсман рассказывал о минералах столь красочно, что хотелось непременно увидеть их своими глазами. Вот лишь одно из-запомнившихся мне описаний в «Занимательной минералогии»: «Еще замечательнее турмалин. Один конец его длинного кристалла может быть окрашен иначе, чем другой. Если разрезать его вдоль, то он окажется послойно окрашенным в самые разнообразные цвета: розовые,

зеленые, голубые, бурые и черные.»¹ И о нем же в «Воспоминаниях о камне»: «...но красивее всех были большие прозрачные камни с нежно-розовыми головками»².

Действительно, богатство красок в минеральном мире способно восхищать и очаровывать. Впрочем, столь же велико и разнообразие кристаллических форм. (См. рис. форм кристаллов на с. 86—87.) Первым исследователям строения кристаллов оно представлялось чуть ли не бесконечным. Один из создателей кристал-

¹ Ферсман А. Е. Занимательная минералогия. М., 1954, с. 126.

² Ферсман А. Е. Воспоминания о камне. М., 1974, с. 42.

логафии Р. Ж. Гаюи так и писал: «С какой бы точки зрения ни рассматривать природу, всегда поражает обилие и разнообразие ее творений... Она в своих подземных расселинах тайно подвергает обработке неорганические вещества и, как бы играя, порождает бесконечное разнообразие кристаллических форм»³.

Однако тот же Гаюи, внимательно изучая грани природных кристаллов, впервые отметил, что многие из них повторяются на внешне совершенно различных минералах. Так, именно он нашел, что синий сапфир, алый рубин и серый мелкокристаллический наждак — один и тот же минерал корунд. Изумруд оказался разновидностью берилла, а до измерений Гаюи их считали разными минералами. Многие минералы обладают столь большими вариациями в своем внешнем облике, что это отражается в их названиях. Таков апатит (в переводе с греческого — «обманывающий»), который в прежнее время часто принимали за другие минералы призматического облика — берилл, диопсид, турмалин. Такова цинковая обманка, внешне непохожая на другие сульфиды, роговая обманка и т. д.

В течение всего прошлого века шла упорная работа минералогов и кристаллографов по определению геометрии форм самых разнообразных кристаллических произведений неживой природы. Химики все более и более точными методами определяли их состав. Результатом этого труда явился вывод, на первый взгляд совершенно неожиданный: минеральных видов оказалось всего около 2000, с основными разновидностями — не более 2500. Сейчас, несмотря на мощную лабораторную технику, открывается очень немного новых минералов: до нескольких десятков в «урожайный год», преимущественно весьма редких, встреченных в каких-то необычных условиях. Да и это число имеет тенденцию со временем сокращаться. Вероятно, недалеко то время, когда открытие нового минерала Земли сделается очень редким событием.

Интересно, что большая часть минеральных видов относится к гипергенным, т. е. образующимся на поверхности Земли в условиях взаимодействия самой внешней части ее твердой оболочки с гидросферой, атмосферой и живым веществом. Это взаимодействие протекает весьма интенсивно,

поскольку обнажившиеся на поверхности глубинные породы не равновесны с новой для них средой — природными водами, газами, живыми организмами. Продукты химических реакций в этой тонкой поверхностной пленке Земли и становятся гипергенными минералами.

В глубинных оболочках Земли, где равновесное состояние достигается благодаря высоким температурам и давлениям значительно легче, число минеральных видов резко уменьшается. В магматическом процессе, связанном с кристаллизацией силикатного расплава — магмы, образуется не более 200 минералов, в гидротермальном — около 500. Нужно учесть также, что около 800 минеральных видов содержат воду или гидроксил-ион, что характеризует специфическую роль воды в земной минералогии.

Космическая минералогия для подсчета числа минеральных видов использует лишь двузначные цифры. В веществе с поверхности Луны, почти лишенном воды, обнаружено не более 100 минералов. «Примерно из 100 описанных лунных фаз около 60 — достоверно установленные минералы, 14 — идентифицированы предположительно, а остальные не определены или определены неточно. С минералогической точки зрения, Луна — убогое место», — пишет Дж. Фрондель⁴.

В метеоритах всех известных сейчас типов найдено чуть более 100 минералов, из них около одной трети — специфические для этих космических тел минералы.

Еще беднее, по-видимому, минералогия земных недр: в строении мантии Земли принимают участие лишь единицы минералов; ядро, вероятно, сложено одной минеральной фазой.

Все эти факты подтверждают справедливость следующих положений, сформулированных Ферсманом еще в 30-е годы: «природа выбирает лишь простейшие пути и простейшие соединения» и «законы кристаллохимии и термодинамики нам показывают, что далеко не все сочетания геохимически и энергетически возможны и что среди них только наиболее простые и сравнительно немногие отвечают условиям достаточной энергетической устойчивости»⁵.

Действительно, число возможных сочетаний из почти 90 химических элементов,

³ Шафрановский И. И. История кристаллографии. С древнейших времен до начала XIX в. Л., 1978, с. 257.

⁴ Фрондель Дж. Минералогия Луны. М., 1978, с. 24.

⁵ Ферсман А. Е. Геохимия, т. III. Л., 1937, с. 343, с. 13.

стабильно существующих в природе, огромно и достигает цифры с 28 нулями. Это, конечно, абсолютный и недостижимый предел, однако мы знаем, что химики уже сейчас синтезировали из тех же элементов многие сотни тысяч соединений. Особенно велико число органических веществ, как природных, так и искусственных. И возможности химиков в получении все новых и новых устойчивых в определенных условиях группировок химических элементов далеко еще не исчерпаны.

Но для Земли и ближнего нам космоса 2000—2500 минеральных видов — бесспорный эмпирический факт. По этому поводу Ферсман писал: «Интересно отметить, что это число в несколько сот раз меньше числа животных и растительных видов»⁶. Правда, в те времена знали 1500—2000 минеральных видов.

Более того, по отношению к произведениям неживой природы можно даже говорить о запрещенных сочетаниях химических элементов, минералов и горных пород. Иными словами, кажется, будто при появлении устойчивых минеральных видов действует своего рода «естественный отбор».

В целом правильные соображения о природе этого «отбора» существовали и 50 лет назад, когда Ферсман создавал свою фундаментальную четырехтомную «Геохимию». Эти же идеи нашли отражение в работах учеников и последователей Ферсмана⁷. Однако лишь сейчас мы можем с уверенностью говорить, что из верных догадок и гипотез они превратились в теоретические представления, построенные на строгом количественном фундаменте.

Так почему же минеральных видов всего две тысячи? Первая причина заключается в том, что в результате смещения природных обменных равновесий устойчивы далеко не все возможные сочетания кислот и оснований, в частности не все сочетания катионов и анионов.

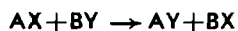
Геохимия и космохимия опираются на Периодическую систему Менделеева в той же мере, как и другие разделы химии. Однако они внесли нечто новое в классификацию химических элементов по их свойствам и поведению. Анализ распределения элементов по оболочкам Земли и в пределах наиболее изученной из них — земной коры, показал, что все химические

элементы могут быть разделены на несколько больших групп: литофилы (сконцентрированные в окисных и силикатных фазах), халькофилы (дающие соединения с серой и ее аналогами — селеном, теллуrom, мышьяком и т. д.), сидерофилы (образующие металлическую фазу и, вероятно, составляющие ядро планеты), аэрофилы (водород, азот, благородные газы и другие элементы атмосферы и гидросферы).

Однако природа разделения элементов между окисной, сульфидной и металлической фазами длительное время оставалась неясной. Правда, было отмечено различное положение отдельных групп элементов на кривой периодической зависимости атомных объемов от атомного веса (В. И. Гольдшmidt), а также связь атомных объемов со стандартными электродными потенциалами и теплотой образования окислов и сульфидов (А. Е. Ферсман). Но вопрос о механизме глобального распределения элементов между оболочками Земли и в более мелком, но практически более важном масштабе — о механизме распределения рудных компонентов в земной коре — был открыт.

Отчасти это объясняется тем, что в основе рассуждений Ферсмана лежали простые представления об аддитивности таких свойств атомов и ионов, как их размер, поляризуемость, энергетическая характеристика и т. п. В частности, Ферсман приписал каждому иону энергетическую константу (ЭК) — энергетический пай, который он вносит в полную энергию решетки кристалла.

Нетрудно понять, что для обменной реакции типа



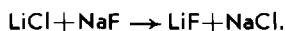
ферсмановская концепция ЭКов приводит к нулевому тепловому эффекту; отсюда следует, что энергетически разрешено существование всех сочетаний катионов и анионов, участвующих в реакции. Здесь стремление найти строго аддитивную характеристику послужило плохую службу. Ферсман отдавал себе отчет в этом недостатке системы ЭКов, что можно видеть из его замечаний в третьем томе «Геохимии»: «Если бы закон аддитивности энергии... имел полное значение, то из химии выпало бы огромное количество различных реакций обмена»⁸.

⁶ Там же, с. 13.

⁷ Сауков А. А. О причинах ограниченности числа минералов. — В кн.: Памяти А. Е. Ферсмана. М., 1946.

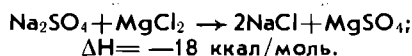
⁸ Ферсман А. Е. Геохимия, т. III, с. 153.

Конечно, приведенная выше реакция обмена характеризуется тепловым эффектом, и в том случае, если она экзотермическая, то по принципу Бертоля она смещена вправо, в сторону образования соединений АУ и ВХ. Вслед за работами Ферсмана А. Ван Аркель, Г. Рамберг, В. С. Соболев с помощью ионной модели строения кристалла установили определенные правила, управляющие смещением обменной реакции. Они сводятся к тому, что в стабильной паре соединений одно должно быть сочетанием наименьших по размеру и (или) наибольших по зарядам ионов, а другое — ионов, наибольших по размеру и (или) наименьших по зарядам. Именно это направление реакции обеспечивает энергетический выигрыш. Пример:

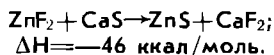


В этой реакции, которая сопровождается заметным экзотермическим тепловым эффектом ($\Delta H = -11$ ккал/моль), стабильно образуются соединения самых мелких (Li^+ и F^-) и самых крупных (Na^+ и Cl^-) ионов. И действительно, в природе обычен галит NaCl (поваренная соль), а виллимит NaF очень редок. Отсутствие фторида лития в качестве минерала объясняется другой причиной ограниченности числа минеральных видов — изоморфизмом, о чем подробнее будет сказано ниже.

Если в реакции участвуют разнозаряженные ионы, то в стабильной паре соединений оказывается соединение катиона и аниона с более высокими зарядами, например:



Когда минералоги обратились к более широкому кругу природных веществ, они обнаружили многие серьезные расхождения предсказаний теории с наблюдениями. Вот один из примеров:

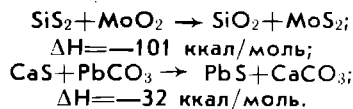


В этой обменной реакции, согласно ионным правилам, должно быть стабильным сочетание более мелкого катиона Zn^{2+} с более мелким анионом F^- . Но опыт показывает, что имеется практически полное смещение равновесия в другую сторону, в сторону образования флуорита CaF_2 . И если эти минералы хорошо известны, то ZnF_2 от-

сутствует в природе совсем, а ольдамит CaS найден только в редких метеоритах.

На основе анализа подобных исключений В. С. Соболев в 1948 г. сформулировал следующее эмпирическое правило: при сильной поляризации устойчивой является та пара, в которой более поляризуемый анион (в данном примере S^{2-}) сочетается с более поляризуемым катионом (в данном случае Zn^{2+}). Следуя современной терминологии, в стабильной паре соединений оказывается наиболее ковалентное (ZnS) и наиболее ионное (CaF_2) сочетание элементов, которые являются также сочетаниями слабой кислоты (S) и слабого основания (Zn), а также сильной кислоты (F) и сильного основания (Ca).

Принципиальное значение имеет вопрос о сродстве элементов к кислороду и сере, поставленный еще на заре геохимии, ибо ответ на него явился бы объяснением геохимического разделения элементов на такие большие группы, как литофилы и халькофилы. Давно уже было замечено, что литофилы, т. е. элементы, склонные давать кислородные соединения, образуют в них существенно ионные связи, а халькофилы, т. е. элементы, склонные к устойчивым сочетаниям с серой и ее аналогами, образуют с ними существенно ковалентные соединения. Однако само по себе это правильное замечание еще не объясняет сущности сродства. Выявить его можно, лишь теоретически анализируя смещение равновесия в обменных реакциях типа:

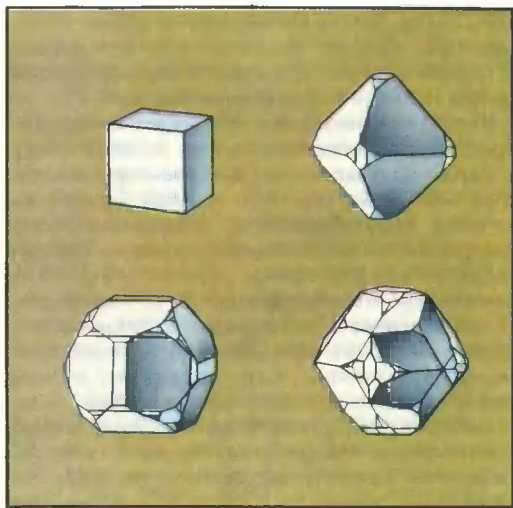


Такой анализ был проведен с использованием энергии атомизации кристалла⁹, которая является функцией разности электроотрицательностей связанных атомов, или, говоря более современным языком, функцией степени ковалентности химической связи. Из анализа следует, что смещение обменных равновесий подчиняется правилу максимальной полярности химической связи, согласно которому стабильная пара представляет собой сочетание наиболее ионного (разность электроотрицательностей максимальна) и наиболее ковалентного (разность электроотрицательностей

⁹ Урусов В. С. Энергетическая кристаллохимия. М., 1975.

минимальна) соединений. Это обеспечивает весьма значительный выигрыш энергии, особенно когда правило максимальной полярности действует одновременно с «ионным» правилом сочетания меньшего по размеру катиона и меньшего аниона (образование кварца SiO_2 и молибденита MoS_2 в первом из приведенных выше примеров).

Таким образом, можно считать, что природа сродства одних элементов к кислороду, а других к сере выяснена. В настоящее время усилия ученых направлены на

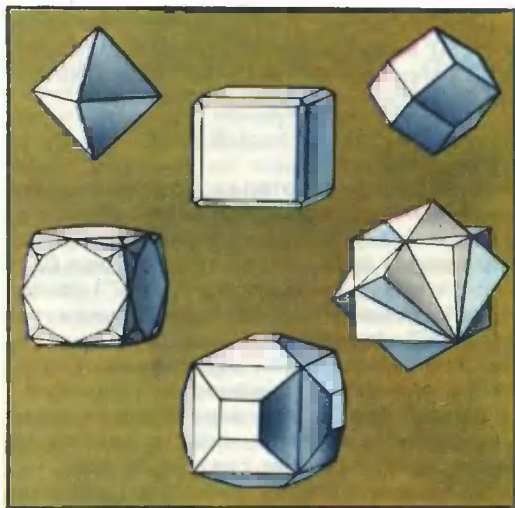


Наиболее распространенные формы кристаллов пирита.

детализацию рядов сродства, что может быть достигнуто на основе термодинамических расчетов окисно-сульфидных обменных равновесий, дающих подробную картину явления. Более того, А. А. Маракушеву удалось установить показатель самородности как величину, обратную произведению сродства металла к кислороду и сере¹⁰. Как и следовало ожидать, этот показатель оказался наибольшим для платины.

В ходе дальнейших работ выяснилось, что появление типичных стабильных сочетаний внутри отдельных классов ми-

нералов (среди сульфидов, силикатов и т. д.) также подчиняется обменным равновесиям. Таким путем удалось объяснить, например, постоянную связь золота с теллуrom, а меди с серой. Кроме того, становится ясным характерное для минералогии силикатов сочетание более заряженных катионов (Mg^{2+} , Fe^{2+} , Be^{2+} , Zr^{4+}) с ортосиликатным анионом в островных структурах (оливины, циркон, фенакит), а менее заряженных катионов (Na^+ , K^+) — с алюмосиликатными анионами в каркасных структурах (полевые шпаты, фельдшпатоиды).



Формы кристаллов флюорита.

Таким образом, кристаллизационная дифференциация силикатных магм управляется тем же правилом максимальной полярности химической связи. Наиболее ярким ее выражением является образование щелочных пород, обогащенных натрием, калием и другими элементами. С рассматриваемых позиций вполне объяснимо повышение в щелочных породах концентрации галогенов (фтора, хлора) и фосфора, т. е. элементов, образующих с щелочными металлами и кальцием высокоионные соединения.

Следствием такого хода процесса дифференциации является тот факт, что число типичных сочетаний минералов друг с другом — число горных пород — также очень ограничено. Ферсман считал, что та-

¹⁰ Маракушев А. А., Безмен Н. И. Термодинамика сульфидов и окислов в связи с проблемами рудообразования. М., 1972.

их сочетаний вряд ли больше 1000. «Фактически же нам приходится иметь дело лишь с 13 основными семействами и несолькими сотнями главнейших типов»¹¹.

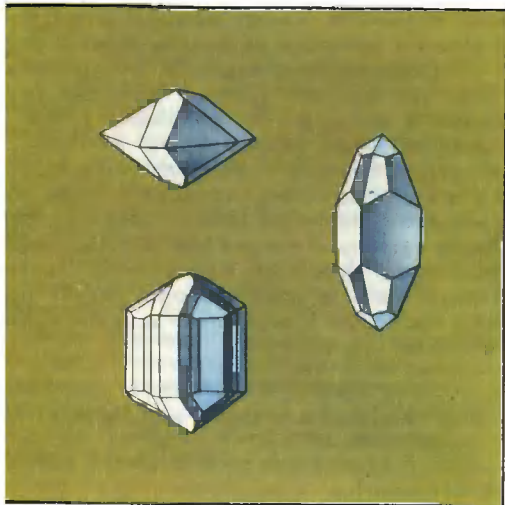
Итак, именно смещение обменных авновесий, подчиняющееся вполне определенным и известным теперь законам, является основным «инструментом» естественного отбора среди минеральных видов горных пород.

Другим важнейшим фактором, ограничивающим число минеральных видов, является изоморфизм, т. е. способность ато-

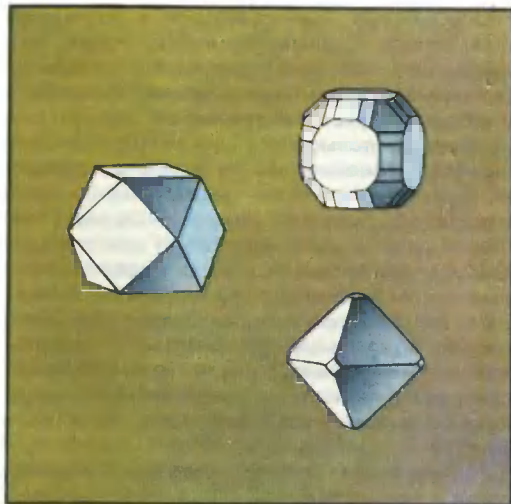
годаря тесным изоморфным связям только общие кристаллические постройки.

Таким образом, почти третья часть всех стабильных элементов не дает собственных минералов. Имеются также элементы (например, кадмий, индий, таллий), для которых известны только весьма редкие собственные минералы и подавляющая доля которых входит в виде изоморфных примесей в «чужие» минералы.

Это известные факты. Куда менее известно, что большая часть таких распространенных рудных металлов, как хром, медь,



Основные формы кристаллов касситерита.



Кристаллические формы галенита.

мов замещать друг друга в одних и тех же позициях кристаллической структуры. Как пример элементов, не образующих собственных минералов, Ферсман приводил кадмий и рений, которые изоморфно замещают магний и молибден соответственно. К ним можно добавить рубидий — постоянный «заместитель» калия, гафний — близнец циркония, тантал и ниобий, замещающие титан, селен, маскирующийся сульфидах, галлий и германий, «спрятанные» почти целиком в минералах алюминия и кремния, группу платиноидов (шесть элементов), а также редкие земли и иттрий пятнадцать элементов), образующие бла-

цинк, олово, уран, ртуть и другие, рассеяна в горных породах в виде ничтожных изоморфных примесей и лишь малая доля их концентрируется в месторождениях. Так, по подсчетам А. А. Саукова, в месторождениях заключено лишь 0,02% всей ртути¹². Около 99,98% атомов ртути находится в состоянии крайнего рассеяния в горных породах, где ее содержание измеряется миллионными долями процента. По оценкам некоторых геохимиков, 80—90% таких обычных халькофильных и сидерофильных элементов, как медь, цинк, свинец, никель, кобальт, находятся в сложной изоморфной смеси с порообразую-

¹¹ Ферсман А. Е. Геохимия, т. III, с. 343.

¹² Сауков А. А. Геохимия. М., 1975.

щими элементами. Здесь помимо законов изоморфизма проявляется и закон действующих масс — один из основных законов физической химии, устанавливающий зависимость скорости химической реакции от концентрации реагирующих веществ и соотношения между концентрациями продуктов реакции и исходных веществ в состоянии химического равновесия.

В этой связи интересно упомянуть о том давнем наблюдении Ферсмана, которое касается обратной зависимости между числом самостоятельных соединений некоторого химического элемента и его способностью маскироваться в изоморфных смесях¹³. Было замечено также, что наименее распространенные элементы (с наименьшими величинами кларков¹⁴) в общем случае оказываются элементами рассеяния, повышенной изоморфной смеси. Конечно, это не закон, а правило, из которого имеется много исключений (например, золото, висмут). Однако, по Ферсману, можно наметить зависимость между числом минеральных видов и атомным весом элемента: чем тяжелее элемент, тем менее вероятно для него большое число природных химических соединений — минеральных видов. Это, очевидно, связано с известным уменьшением кларков по мере роста атомного веса элементов.

Вслед за своими учителями Вернадским и Гольдшмидтом, Ферсман придавал изоморфизму исключительно важное значение в геохимических судьбах атомов. Размышлял он и о возможности количественного анализа этого сложного явления, очень обычного как для химика в его лабораторной практике, так и для технолога-металловеда. Ферсман писал: «Анализ явлений изоморфизма с точки зрения энергетики представляет очень важную задачу и намечает совершенно новые пути в изучении геохимических процессов. Изоморфизм есть не просто случайная замена одних элементов другими на основании их объема и закона масс, а один из способов достижения более устойчивых энергетических комплексов... Однако анализ этой проблемы с точки зрения энергетики пока невозможен и частично наталкивается на ряд противоречий»¹⁵.

С той поры, когда были написаны эти слова, прошло почти 50 лет. И не будет преувеличением сказать, что предвидение Ферсмана в целом оправдалось. И хотя наши представления об изоморфизме претерпели за это время самые радикальные изменения, развивались они в направлении, указанном Ферсманом. Сейчас на основе количественной энергетической теории мы имеем возможность в целом ряде случаев успешно предсказать пределы устойчивости изоморфных смесей, их поведение в зависимости от температуры и давления, а также распределение химических элементов между твердой и жидкой фазами в процессе кристаллизации¹⁶.

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что высокий уровень развития геохимии и минералогии в нашей стране в огромной мере заслуга наших учителей и предшественников — Вернадского и Ферсмана. Еще раз хочется вспомнить слова последнего: «Значение исследования заключается часто не столько в том, что оно через гущу леса прорубает совершенно новую дорогу, но и в том, что оно делает дорогу проезжей и заставляет всех передвигаться по новому пути»¹⁷.

¹⁶ Урусов В. С. Теория изоморфной смеси. М., 1977.

¹⁷ Ферсман А. Е. Геохимия, т. III, с. 465.

¹³ Ферсман А. Е. Геохимия, т. II. Л., 1934.

¹⁴ Кларк — константа распространенности элемента в земной коре, литосфере, атмосфере или другой крупной геохимической единице.

¹⁵ Ферсман А. Е. Избр. труды, т. III. М., 1955, с. 131.

Памяти А. Е. Ферсмана посвящается

Т. Б. Здорик,

кандидат геолого-минералогических наук

Москва

К столетию со дня рождения А. Е. Ферсмана в Москве открылась очередная, восемнадцатая по счету, выставка любителей камня — членов петрографической секции Московского общества испытателей природы. Эта выставка стала первым звеном в цепи ферсмановских юбилейных торжеств.

Посвящение выставки Ферсману не осталось лишь формальным актом: ферсмановский дух бережного отношения и любви к камню составлял ее существо. Открыл экспозицию маленький, но тщательно продуманный мемориальный зал. Здесь не выставлялись полевая сумка или прославленный алюминиевый чайник Ферсмана, зато были карта его экспедиций и необычайная — мемориальная — витрина минералогических образцов. Нельзя без волнения разглядывать минералы, привезенные из ферсмановских маршрутов. Вот целестин — «нежно-голубой камень, цвета неба, такой чистый и прозрачный»¹, вот беломорит — «белый, едва синеватый камень, едва просвечивающий, едва прозрачный, но чистый и ровный, как хорошо выглаженная скатерть. По отдельным блестящим поверхностям раскалывался камень и на этих гранях играл какой-то таинственный свет. ...Нежные, синевато-зеленые, едва заметные переливы только изредка вспыхивали они красноватым огоньком, но обычно сплошной загадочный лунный свет заливал весь камень, и шел этот свет откуда-то из глубины камня»². А вот, пожалуй, самый впечатляющий образец — типичный хибинский зеленовато-серый штуф с вкраплениями «лопарской крови» — того замечательного красного камня Хибинских и Ловозерских тундр, имя которому эвдиалит. Рядом с ним —

пожелтевшая от времени этикетка, написанная четким ферсмановским почерком.

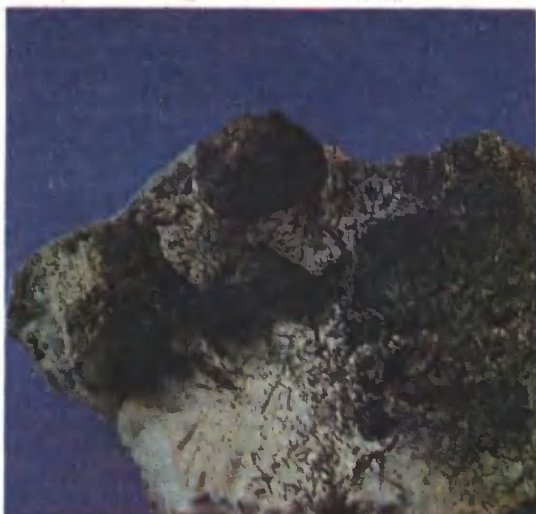
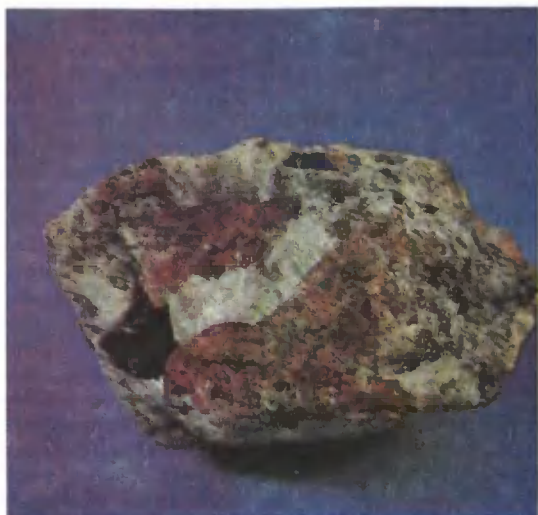
Книги Ферсмана, научные и научно-художественные, экспонируются в отдельной витрине. Его официальные и «домашние» фотографии, его высказывания, с любовью выведенные на четвертушках ватмана, — все это так уместно в окружении минералогических диковин, собранных коллекционерами-любителями, той читательской аудиторией, к которой в первую очередь обращался Ферсман.

Что же отличает традиционную любительскую выставку «Удивительное в камне» от научных музейных экспозиций? Один московский школьник так ответил на этот вопрос: «В музее представлена как бы физическая жизнь минерала в природе, а минералог-любители на своей выставке стремятся выявить «душу камня». По каким бы принципам ни строилась музейная экспозиция, она всегда демонстрирует роль и место минерала в научной картине мира. И хотя кропотливый труд музейных работников, несомненно, отражает не только их знания, опыт, но и их личный вкус, однако в музее все это оказывается как бы за кадром, а в кадре остается минерал как объект научного исследования.

Здесь, на выставке любителей камня, каждая из коллекций, независимо от уровня минералогических знаний владельца, пронизана глубоко личностным отношением к камню. Поэтому при выборе материала преобладающим оказывается стремление выявить эстетическую ценность образца, подчеркнуть его эмоциональное воздействие. Устроители выставки стремятся создать композиционное единство, не подавая при этом особенности каждого из участников. А это совсем не просто: ведь из двух с лишним тысяч минеральных видов не более 40—50 составляют «золотой фонд» любительских коллекций. Каждый четвертый коллекционер выстав-

¹ Ферсман А. Е. Воспоминания о камне. М., 1946, с. 90.

² Там же, с. 42.



ляет пирит, флюорит или антимонит, каждый второй — минералы кремнезема: не агат, так кварц, не просто кварц, так аметист, морион, цитрин. Но при этом для коллекционера, воспитанного на книгах Ферсмана, нет и не может быть неинтересных камней. Оттого подлинным открытием выставки стали витрины с обычными подмосковными агатами и халцедонами. Эти удивительные камни словно иллюстрируют известный афоризм И. В. Гете: «Самое прекрасное в мире минералов — самое простое».

Вкус коллекционера (или его отсутствие) проявляется столь непреодолимо, словно автор экспозиции присутствует рядом. Подчас, впрочем, так оно и есть: сам, замороженный красотой излюбленных сок-

ровищ, он подолгу простаивает у витрины, ревниво прислушиваясь к реакции зрителей. И в этом тоже характерная особенность выставок «Удивительное в камне» — стеклянная витрина с минералами — не барьер, а мост между выставяющими камень и пришедшими его увидеть. Нередко вчерашний зритель становится участником экспозиции.

Любительское коллекционирование минералов имеет свои законы. И одно из непреложных его требований — эстетическое. Но здесь возможно два подхода: интерес к естественным формам и окраскам камня, к природным ассоциациям минералов или же стремление сделать камень еще более привлекательным путем обработки. Видимо, правомочны оба направле-

Вверху — минералы, изучавшиеся А. Е. Ферсманом. Слева — малиновые зерна эвдиалита в полевоом шпате (Кольский п-ов). Справа — зеленый турмалин, обросший корочкой черного турмалина (о-в Эльба, Италия); из сборов А. Е. Ферсмана 1911 г. Внизу — минералы, названные в честь А. Е. Ферсмана. Слева — черные кристаллы ферсмита в полевоом шпате (Вишневые горы, Южный Урал); справа — бурые кристаллы ферсманита, окруженные полевым шпатом (Хибинны, Кольский п-ов).



Образцы из коллекции А. Н. Коробкова, которые экспонировались на юбилейной выставке «Удивительное в камне». Вверху — октаэдрические кристаллы флюорита с пиритом. [Казахстан]; внизу — сросток лучистых кристаллов антимонита (Казахстан).



ния. Одно тяготеет к углубленному изучению минералогии и петрографии, другое заставляет искать пути раскрытия красоты камня посредством его обработки.

За последние годы настолько расширился диапазон экспонируемых образцов, что на выставках 1982 и 1983 гг. был выделен особый «зал редкостей», где представлялись такие сравнительно редкие минералы, как диоптаз, аурихальцит, гидденит и др. Это важно не только для зрителей, но и для коллекционеров. Они воочию убедились в необходимости углубления своих знаний в минералогии, увидев, скажем, на конкретном примере, что в погоне за приятным на вид, но вполне тривиальным агатом можно забыть уникальный образец редкого минерала из группы цеолитов.

Расширилась и география «региональных» коллекций: среди образцов из Сибири, Урала, Казахстана нередки теперь «гости» из месторождений Африки, Ближнего Востока, Америки.

Но, пожалуй, самой отрадной новизной нужно считать появление молодой поросли коллекционеров. И при геологическом факультете Московского государственного университета и при Московском геологоразведочном институте (МГРИ) существуют специальные школы для старшеклассников, увлеченных геологией и минералогией. Ведут занятия в таких школах главным образом студенты. Результаты каменных сборов в их экскурсиях и первых экспедициях уже несколько лет экспонируются на выставке «Удивительное в кам-

не». Наиболее ценные образцы передаются в фонд музеев МГРИ и МГУ. Впервые в этом году в выставке участвуют школьники Московского дворца пионеров.

Хочется остановиться и еще на одной новинке. На выставках 1982 и 1983 гг. появились образцы цветного камня и изделий из него, представленные объединением «Союзкварцсамоцветы», т. е. организацией, не только ведающей добычей цветного камня в государственном масштабе, но впервые в нашей стране начавшей специальную разведку и разработку коллекционных образцов как нового и перспективного вида минерального сырья. Этот контакт геологов и коллекционеров чрезвычайно полезен.

Интерес к камню растет год от года. Видимо, вызвано это не только красотой камня, но и своего рода ностальгией по естественным, природным материалам. Коллекционирование — удивительное явление, противостоящее минералогической энтропии, разрушению природных каменных шедевров. Еще в XIX в. А. Гумбольдт предложил термин «памятник природы». В наше время привычным стало сочетание слов «охрана памятников природы». Но при этом мы не всегда помним, что памятник природы — это не только останец с необычайными формами выветривания или пещера со сталактитами. Миниатюрными памятниками природы являются и уникальные рудные шпуды, и оригинальные друзы кристаллов. Форсированная разработка месторождений с применением мощной горнорудной техники не позволяет музейным экспедициям уследить за бесследно исчезающими минеральными униками. Здесь колоссальную помощь могут оказать, да и оказывают минералогии-любители. «Когда мы говорим о коллекционерах, — пишет Ираклий Андроников, — то не должны забывать, что коллекционер — это первая ячейка музея, коллекционеры — актив музея... работа отдельных коллекционеров вливается потом в общую сокровищницу культуры»³.

Убедительным примером ассимиляции музеем частных коллекций является крупнейший Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана АН СССР — музей, основанием которого стал минеральный кабинет Кунсткамеры, созданной Петром I. К середине XIX в. объем этого первого в России музейного собрания минералов превысил 20 тыс. образцов, причем при-

рост музейного фонда шел главным образом за счет поступлений из частных коллекций.

В конце прошлого и в начале нашего века сюда передали свои личные коллекции В. И. Вернадский, А. П. Карпинский, В. Н. Крыжановский.

После Октябрьской революции в музей поступили прекрасное собрание П. А. Кочубея, старинная коллекция Строгановых, личное собрание И. И. Балашева и многих других. Пополнение музея за счет образцов, переданных из личных коллекций, происходит и по сей день, составляя около четверти всего фонда новых поступлений. В картотеках Музея им. А. Е. Ферсмана числится не менее 5 тыс. лиц, передавших туда образцы.

Естественно, что отношения музея и коллекционера строятся на взаимном интересе: музей — это школа коллекционера и его «высшая инстанция» во всех сложных научных, да и не только научных вопросах. Для упрочения контакта коллекционера с музеем, с научными общественными организациями сейчас предпринимаются конкретные шаги. На Всесоюзной практической школе по музейной работе, состоявшейся в 1981 г. в Свердловске, была принята рекомендация в адрес президиума Всесоюзного минералогического общества (ВМО): «Рассмотреть вопрос о формах организации в рамках ВМО массового движения любителей камня (не профессионалов), направив его на пополнение музейных фондов и охрану недр»⁴.

Пропаганда минералогических знаний, правильная организация распыленных сил коллекционеров должны превратить стихийную армию минералогов-практиков в мощное подспорье музеям. Здесь всегда на вооружении остаются слова Ферсмана: «Зорко и упорно наблюдайте родную природу, которая щедро рассыпает вокруг вас свои богатства; но они познаются только в труде и увлечении»⁵.

⁴ Зап. Всес. Минерал. об-ва, 1981, ч. 110, вып. 2, с. 247.

⁵ Ферсман А. Е. Очерки по истории камня. М., 1971, с. 87.

³ Цит. по книге: К а н т о р Б. З. Коллекционирование минералов. М., 1982, с. 12.

Мои встречи с А. Е. Ферсманом

Г. С. Грицаенко,
доктор геолого-минералогических
наук
Москва

Писать об Александре Евгеньевиче невероятно трудно! Об этом очень хорошо сказал в своих воспоминаниях геолог Леонид Васильевич Пустовалов: «Самые яркие и выразительные слова кажутся тусклыми и недостаточными для того, чтобы охарактеризовать яркий образ Александра Евгеньевича. Блестящий ученый-энтузиаст, неутомимый естествоиспытатель, интереснейший собеседник, жизнеутверждающий оптимист, большой мастер слова, пламенный патриот, крупнейший организатор, смелый новатор, человек возвышенной, самой благородной и широкой натуры, вечно стремящийся вперед, увлекающий за собой своих слушателей и читателей — такой был Александр Евгеньевич»¹.

Человек необъятной научной и душевной щедрости и беспредельного обаяния, он покорял всех, кто с ним соприкасался, сразу и навсегда.

Я впервые встретила с ним пятьдесят лет назад, летом 1933 г., в Свердловске.

Обстоятельства сложились так, что мне пришлось учиться и работать. Я была начальником минералогической партии в научно-исследовательском секторе Ленинградского горного института, где в то время училась на третьем курсе. Работа по изучению одного из крупных, вновь открытых месторождений силикатно-никелевых руд Среднего Урала велась под руководством профессора Анатолия Капитоновича Болдырева на договорных началах с Уральским государственным институтом цветных металлов «Уралгинцветметом». Это были годы индустриализации нашей страны, и на базе изучавшихся месторождений строился первый в Советском Союзе никелевый завод.

По окончании учебного года я повезла свой первый в жизни отчет заказчику. Когда в «Уралгинцветмете» вместо солидного представителя горного института увидели девочку с косичками, то не только принять отчет, но даже и разговаривать с ней не захотели. По существу мне был предъявлен ультиматум: «Сейчас в Свердловск приехал академик Ферсман. Если он одобрит Ваш отчет, мы его примем, если нет — не обессудьте.»

Совершенно убитая (работа-то договорная!), убежденная в том, что академик не станет тратить время на отчет какой-то студентки, я направилась в Уральский филиал Академии наук, который был организован по инициативе Ферсмана примерно за год до этого. К моему глубокому удивлению ученый секретарь в тот же день сообщил мне, что Александр Евгеньевич дал свое согласие заслушать мое сообщение на заседании филиала через три дня, но поставил условие, чтобы доклад был проиллюстрирован образцами. Это условие я охотно выполнила, благо месторождение располагалось не так уж далеко от Свердловска и за три дня можно было съездить туда и обратно, а заодно и известить рудничных геологов о предстоящем событии.

В назначенный день я разложила образцы и, замирая от страха, стала ждать своей участи, будучи уверенной, что не смогу сказать ни слова в присутствии такого большого ученого. Но вот за несколько минут до начала заседания появился Александр Евгеньевич, огромный, улыбающийся, с минералогической лупой на шнурочке, с которой он никогда не расставался, и сразу же подошел к столу с образцами: «Ну, ну, что тут у Вас, покажите-ка. Интересно, интересно!». Увидев образец гелевидного редвинита, налил в стакан воду и бросил туда кусочек этого минерала, который стал там с треском рассыпаться на мелкие скорлуповатые осколоч-

¹ Александр Евгеньевич Ферсман. Жизнь и деятельность. М., 1965, с. 231.

ки. «Его нужно было назвать не ревдинит, а аква-кряхтит!» — воскликнул он. Все рассмеялись, и сразу же создалась теплая, непринужденная обстановка, страх исчез, и осталось одно желание как можно лучше рассказать о наблюдениях, поделиться сомнениями и просить помощи в неясных вопросах, которых, конечно же было очень много.

Но вот изложен фактический материал, и я остановилась, не зная, как подойти к его обобщению. И тут снова на выручку пришел Ферсман. Слово не замечая затруднений студентки, он сказал, что хочет сам, исходя из теоретических представлений, нарисовать картину распределения минералов в месторождении и показать основные закономерности сочетания и концентрации элементов, а докладчица пусть заключает, правильно ли он все это «угадал».

И он произнес блестящую речь об элементах семейства железа, о роли никеля и кобальта в этом семействе, о специфике минералов, которые должны образоваться в тех или иных условиях, указал возможные места наибольшей концентрации никеля. Он никогда не бывал на этих месторождениях, они тогда еще не были детально описаны, но картина, нарисованная им, была так ярка и красочна, будто он все это видел собственными глазами. Это было похоже на разгадывание загадочной картинки «Где кошка?» Сначала в хитросплетении линий ничего разобрать нельзя. Но когда кошка найдена, она начинает упорно «лезть в глаза» и становится удивительным, как это сразу мы ее не заметили? Закономерности, предсказанные Ферсманом, были прослежены в дальнейшем и на других силикатно-никелевых месторождениях. Они сохраняют свою силу и по сей день.

На всю жизнь осталось в памяти это выступление. Так мог говорить только человек, владеющий замечательным даром научного предвидения, понимающий до конца душу камня и умеющий читать его историю в нем самом.

Отчет был принят. Более того, были выделены ассигнования на продолжение работ. Таким образом, я как бы получила из рук Александра Евгеньевича «путевку в жизнь».

Продолжение этих исследований привело к моей второй встрече с Александром Евгеньевичем. Получилось это так. На месторождении, которое мы изучали, часто встречались магнезиальные силикаты и их аналоги. Чтобы разобраться в

них, мне пришлось проштудировать классическую монографию Ферсмана «Исследования в области магнезиальных силикатов». И вдруг оказалось, что одна из выделенных им групп силикатов, по моим данным, вообще не должна существовать. Я решила пойти на прием к Ферсману, чтобы сообщить ему об этом. Он меня принял, самым внимательным образом выслушал и согласился с моими выводами. Я ушла от него окрыленная, как говорится, не чужа земли под ногами!

Об этом не стоило бы писать, если бы в этом эпизоде, как в капле воды, не отражалась удивительная доступность Александра Евгеньевича, его искренняя заинтересованность и доброжелательное отношение в любому начинающему минералогу (да и не только минералогу!), в котором, он видел любовь к своему делу.

И только много лет спустя, когда его уже не было, я задумалась над тем, действительно ли мне удалось убедить Александра Евгеньевича или он просто очень бережно отнесся к первым, еще очень слабым росткам научной самостоятельности и той храбрости, с которой к нему пришла молодая дипломница.

В русских сказках говорится о живой и мертвой воде. Так вот, Александр Евгеньевич, сбрызгивал живой водой каждого, кто приходил к нему за помощью и добрым советом. А ведь бывает, что брызгают и мертвой!

Повезло мне и в третий раз.

После переезда Академии наук в Москву туда по семейным обстоятельствам переехала и я. И вот, в 1938 г., когда я уже работала ассистентом кафедры минералогии Московского геологоразведочного института (МГРИ), я получила приглашение Александра Евгеньевича его посетить. При встрече выяснилось, что он предлагает мне стать ученым секретарем комиссии по учебникам, которую он в то время организовал и возглавил. Он был обеспокоен положением в минералогии и специальной подготовкой минералогов вообще и отсутствием ярких, хороших учебников по минералогии (разного уровня) в частности. Ему хотелось, чтобы учебники были не средоточием протокольных сведений о минерале, а живым описанием минералов и их жизни в природе, столь увлекательным, чтобы заучивание ряда совершенно необходимых сведений о свойствах, строении и составе минералов не превращалось в формальную

зубрежку, а воспринималось как способ раскрытия их внутренней сути.

В своем письме из больницы (оно не датировано, но это — 1938/39 учебный год) он писал мне: «С минералогией у нас не все хорошо, и надо принять решительные меры, чтобы поднять работу и привлечь новые кадры. Надо заняться учетом минералогов, ведь их очень немного, и подготовить деловое совещание по учебникам. Из этого само собой выкристаллизуется и комиссия по минералогическому образованию, а может быть, и постоянное совещание минералогов».

Рабочие встречи происходили у Александра Евгеньевича дома, на Средненском бульваре. Удивительный это был дом! Теплый, гостеприимный, со своим особым микроклиматом, в котором каждый чувствовал себя легко и свободно. Встречала посетителей обычно Екатерина Матвеевна Ферсман, а провожал всегда он сам. При этом он иногда шуточно говорил: «Ну, тетка, тетка, давай-ка я тебя одену, не прикидывайся, что ты молодая, ты уже старая!»

Поражало, что у такого страстного любителя камня личной коллекции не было. Александр Евгеньевич считал, что все интересные образцы должны передаваться в музеи, ну, а неинтересные и держать не стоит. «За 34 года своей работы в Минералогическом музее Академии наук СССР А. Е. Ферсман передал в него 90 коллекций — тысячи камней со всего света», — писал в статье «90 коллекций» директор Минералогического музея АН СССР (теперь музей им. А. Е. Ферсмана) В. И. Крыжановский.

Отличный пример для подражания!

Встречи происходили иногда днем, а иногда и поздно вечером — в 10 и даже 11 часов, когда Александр Евгеньевич, передохнув от дневных дел, с новыми силами начинал свой второй рабочий «день», длившийся далеко за полночь.

И вот, в один из таких вечеров, когда с деловыми вопросами было покончено, Александр Евгеньевич вдруг начал читать по рукописи свои «Воспоминания о камне», которые он тогда готовил к печати. Он прочел «Бунт атомов», «В огне вулкана» и «Целестин». Передать словами впечатление от этой четки невозможно. Это было какое-то волшебство, когда не только пошевелиться, но и вздохнуть казалось святотатством! Новеллы о камне и в напечатанном виде покоряют своей поэтичностью, а здесь их читал автор, читал своим ярким, удивительного тембра голосом, читал



А. Е. Ферсман в Хибинах. 20-е годы.

вдохновенно, с подлинным артистизмом, которым, кстати говоря, отличались все выступления Ферсмана.

С тех пор прошло 45 лет. А у меня до сих пор перед глазами озаренное внутренним светом лицо Александра Евгеньевича и его живой голос, читающий строки: «Нозми, Нозми, ты не знаешь ни души камня, ни души человека». В опубликованном тексте вместо слов «души камня» стоит слово «минералогии», а жаль! Теряется поэтичность.

Зимой 1940/41 учебного года Александр Евгеньевич дал согласие прочитать в Московском геологоразведочном инсти-



А. Е. Ферсман и Д. И. Щербанов на Шерловой горе в Забайкалье. 1929 г.

туте доклад для студентов и преподавателей. Когда я спросила о названии доклада, он сказал: «О камне. Положите передо мной камни, и они сами подскажут мне, что говорить».

Большая аудитория была забита до предела: стояли, сидели всюду, где только удалось уместиться. На столе разложены великолепные образцы изумрудов, аквамаринов, топазов, аметистов, горного хрусталя, яшм, лазурита, малахита из минералогического музея института. На многих из них этикетки, написанные рукой Александра Евгеньевича в бытность его в Московском университете, коллекции которого были переданы МГРИ в момент его организации. Он узнает в них добрых друзей и говорит о них так, как это умеет делать только он. В этом докладе проявилась еще одна очень характерная для Александра Евгеньевича черта — чувство времени. Он говорил о значении камня для нужд народного хозяйства. Он говорил о пути изумрудов, аквамаринов и бе-

риллов от украшения к технике, о замечательных свойствах бериллия как металла новой авиации, о роли горного хрусталя как пьезо-сырья, о синтетическом нитриде бора, построенном по типу решетки алмаза и унаследовавшем его свойства, в первую очередь — твердость, и многом, многом другом.

Как всегда его слушали, затаив дыхание, с горящими глазами, боясь пропустить не только слово, но каждое движение, малейшую интонацию его звучного и богатого голоса. И можно ручаться, что каждый, кто имел счастье слышать это выступление, сохранит его в памяти как одно из ярчайших впечатлений до конца своих дней.

Во время эвакуации в Свердловск я была старшим инженером минералогического кабинета института «Механобр» и занималась там изучением природно-легированных руд и продуктов их обогащения. Ферсман в то время работал над книгой «Геология и война», и его интересовало все, связанное с этой проблемой. Будучи в Свердловске, он подробно расспрашивал об этих исследованиях, смотрел образцы и, увидев как-то отлично изготовленные полированные шлифы, поинтересовался, кто их делал. Когда я сказала, что шлифовальщиком у нас работает Григорий Данилович Зверев, Александр Ев-

геньевич воскликнул: «Сын Данилы Зверева! Знаменитого уральского горщика!» И рассказал, как в далекие годы он навещал Данилу Кондратьевича, смотрел его замечательные сборы, и как Гриша Зверев, тогда еще совсем мальчик, показывал Александру Евгеньевичу свои собственные находки и говорил, что он тоже обязательно будет каменным ученым. И он действительно всю свою жизнь имел дело с камнем и стал замечательным мастером каменных дел.

Во время войны Ферсман поддерживал постоянную связь с фронтом — переписывался с бойцами, выезжал на фронт для чтения докладов. На фронте был его сын — Александр Александрович Ферсман.

Вся деятельность Александра Евгеньевича во время Великой Отечественной войны была направлена на организацию работы всех научных подразделений Академии наук, с которыми он соприкасался, на помощь фронту.

Еще будучи в Свердловске, Александр Евгеньевич задумал провести совещание минералогов и геохимиков, которому он придавал большое значение. Он очень вдумчиво и с «огоньком» подбирал кандидатуры для ведущих докладов. Об одном из возможных докладчиков он сказал: «Да, конечно, он знающий минералог, но ведь он сделает из доклада обезжиренную пересушенную котлету!» Кандидатура была отклонена.

По возвращении в Москву подготовка пошла полным ходом, и совещание было проведено в Минералогическом музее АН СССР 31 октября — 2 ноября 1944 г. Сам Александр Евгеньевич представил на него доклад, состоящий из двух частей: 1. Научный отчет и задачи будущего. 2. Задачи минералогии в нашей стране. Обе части доклада опубликованы в «Записках Всероссийского (тогда оно называлось еще так. — Г.Г.) минералогического общества. Первая — в 1945 г., а вторая — в 1946 г., уже посмертно.

Вскоре после совещания Александр Евгеньевич тяжело заболел. Опасались за его жизнь. Но как только ему стало легче, он снова начал очень живо откликаться на все, что связано с дорогим его сердцу камнем. Он писал мне: «Рад за подрастающую молодежь. Учите их хорошенько, чтобы вышли хорошие специалисты и своим делом занимались с увлечением (подчеркнуто Ферсманом. — Г.Г.), а не формально. Надо организовать подмосковные поездки — экскурсии, чтобы студенты могли

наблюдать саму природу и прониклись бы ею. Нельзя отрывать минерал от природы — он будет мертв».

В апреле 1945 г. Александр Евгеньевич, вопреки категорическим запретам врачей, уехал в Сочи. Перед отъездом он зашел в Институт геологических наук, и обошел многие кабинеты, тепло прощаясь с сотрудниками и находя для каждого свои, самые нужные слова.

Прошел месяц. Была получена телеграмма о возвращении Александра Евгеньевича. Но вместо него мы встречали его гроб.

Какое-то время спустя Екатерина Матвеевна рассказала мне о последнем дне жизни Александра Евгеньевича.

Накануне отъезда, вечером они гуляли по берегу моря. Все вокруг цвело. Александр Евгеньевич сказал: «Знаешь, Катриш, я никогда еще не был так полон красотой, как сейчас». Они возвратились в санаторий, и Александр Евгеньевич прилег отдохнуть, чтобы после этого сесть за воспоминания о Владимире Ивановиче Вернадском. Но он пожаловался, что ощущает какую-то неловкость в руке. Екатерина Матвеевна пошла за врачом, а когда с врачом вернулась, Александра Евгеньевича уже не было. Смерть Александра Евгеньевича была такой, какой была его жизнь — на взлете!

Его знали и любили тысячи людей в самых разных уголках нашей страны. И это были не только ученые и педагоги. Это были пионеры и школьники, студенты и горщики, красноармейцы и колхозники, все те, кого интересовала природа, кто любил ее и хотел понять.

И этот огонь, который Александр Евгеньевич зажигал в сердцах людей, — лучший из памятников замечательному Ученому и Человеку.

На службе обороны

Академик А. Л. Яншин

Москва

Последние годы жизни Александра Евгеньевича Ферсмана совпали со временем Великой Отечественной войны. Его кипучая деятельность в эти годы не ослабевала. Незадолго до начала войны после смерти А. Д. Архангельского он был избран директором Института геологических наук АН СССР¹. Когда Президиум Академии наук был эвакуирован в Казань, а большинство академических институтов в Свердловск, Куйбышев, Горький и другие города глубокого тыла, Ферсман разослал отряды своего института в разные районы страны для поисков и оценки месторождений минерального сырья, необходимого для нашей оборонной промышленности, а сам с небольшой группой сотрудников остался в Москве, где организовал Комиссию при Академии наук СССР по геолого-географическому обслуживанию Красной Армии. Он эту комиссию называл: «Наука на службе обороны». Некоторые примеры деятельности комиссии Ферсмана я могу привести по личным воспоминаниям.

Мой отряд тогда входил в состав Уральской комплексной экспедиции и располагался на самом южном фланге фронта ее работ в г. Актюбинске. Первое задание от Ферсмана было получено после того, как фашистские войска захватили район Никополя на Украине и оттуда перестала поступать марганцевая руда для металлургических заводов Урала. Ферсман до этого многократно бывал на Урале, изучал его металлогению и знал, что в девонских и силурийских вулканогенных породах его восточного склона существует много мелких месторождений марганцевых руд, которые в мирное время считались непромышленными. Отряды Уральской

экспедиции, в частности мой, были срочно направлены на Урал, чтобы сделать сравнительную оценку этих мелких месторождений и выбрать наиболее надежные для эксплуатации. Добыча руды производилась на небольших карьерах, а доставка в Магнитогорск автоколоннами. Такие же работы по заданию Ферсмана были проведены на восточном склоне Северного Урала для снабжения местной марганцевой рудой Нижнего Тагила.

Вскоре фашистские войска прорвались к Донбассу и захватили Артемовск, где было сосредоточено производство технической соды. Ферсман знал, что на северном побережье Аральского моря имеются соляные озера с садкой сульфата натрия. Мне было дано задание оценить их запасы и наладить разработку силами промкооперации, а С. И. Вольфовичу — выехать на Актюбинский химический комбинат и организовать производство технической соды из сульфата натрия по старому способу Леблана. В последние годы войны такое производство было там налажено, что было необходимо для нашей химической промышленности.

Временный захват фашистами всей Украины и Белгородской области лишил нашу страну эксплуатируемых месторождений писчего мела, который был необходим в качестве наполнителя для резиновой промышленности. Ферсман знал, что в западных областях Казахстана широко развиты меловые и мелоподобные породы, но сложность заключалась в том, что надо было найти их месторождение по линии существующих железных дорог, так как строить новые подъездные пути в военное время было некогда. Палеонтологический анализ выбросов из нор сурков позволил обнаружить присбросовую полосу меловых пород, пересекающую железную дорогу Кандагач — Гурьев между станциями Караулкельды и Жарлы. Эвакуированное в Актюбинск Украинское геоло-

¹ С 1 января 1956 г. институт разделен на Геологический институт и Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии.

гическое управление в месячный срок разведало эту полосу, обнаружило мощный пласт очень чистого писчего мела, а еще через месяц между названными станциями был построен разрез Меловой, началась карьерная добыча писчего мела и отгрузка его находившимся в тылу предприятиям резиновой промышленности.

Я привел только три примера, как выполнение заданий Ферсмана позволило принести пользу Родине в тяжелые годы Великой Отечественной войны. Но ведь подобные же его задания выполнялись в других районах Урала и Казахстана, в Сибири и республиках Средней Азии! В упоминавшейся мною биобиблиографии Ферсмана² о его деятельности в 1941—1945 гг. сказано, что он «выполнял особые задания Генштаба Советской Армии». В эти же годы он был экспертом Госплана СССР по минеральному сырью, председателем Комиссии по проблемам минерального сырья Совета по производительным силам АН СССР, председателем Совета по научно-технической пропаганде при Президиуме АН СССР. Он часто выезжал на фронт, где читал лекции нашим войсковым подразделениям и консультировал инженерно-геологические работы.

В то же время он продолжал публиковать свои труды по минералогии и статьи по военной тематике. Уже в конце 1941 г. вышла его брошюра «Война и стратегическое сырье». В 1942 г. она была переиздана, а кроме того, были опубликованы его статьи «География на службе войны», «Сокровищница стратегического сырья» и «Советские геологи на службе защиты Родины». В 1943 г. была опубликована его брошюра «Геология и война», а в 1944 г. его статья «Минеральное сырье во Второй мировой войне»³.

Свои знания и свое слово он отдавал в эти годы, как и всегда, тому делу, которое было для Родины самым важным.

² Александр Евгеньевич Ферсман. Материалы к биобиблиографии ученых СССР. Сер. геолог. наук, вып. 19. М., 1964.

³ Ферсман А. Е. Избранные труды, т. 7. М., 1962.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ А. Е. ФЕРСМАНА В «ПРИРОДЕ»

АЛМАЗ. ЕГО КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ. 1912, № 5.

ЗАДАЧИ СОВРЕМЕННОЙ МИНЕРАЛОГИИ. 1912, № 7—8.

ЗА ЦВЕТНЫМИ КАМНЯМИ. 1912, № 9.

СУЩЕСТВУЮТ ЛИ ГРАНИЦЫ НАШЕМУ ПОЗНАНИЮ ПРИРОДЫ? 1913, № 3.

ЯВЛЕНИЯ ДИФфуЗИИ В ЗЕМНОЙ КОРЕ. 1913, № 7—8.

ИЗУМРУДЫ УРАЛА. 1913, № 12.

ХИМИЧЕСКАЯ ЖИЗНЬ ЗЕМНОЙ КОРЫ. 1914, № 1, 2, 3.

ВОДА В ИСТОРИИ ЗЕМЛИ. 1914, № 6.

ИЗ ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ. 1915, № 1.

ИСКОПАЕМЫЕ БОГАТСТВА ГАЛИЦИИ И БУКОВИНЫ. 1915, № 3.

РУДЫ АЛЮМИНИЯ В РОССИИ. 1915, № 10.

К ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ В РОССИИ. 1915, № 11.

НА АЛТАЕ. 1917, № 3.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИЛ РОССИИ. 1917, № 4.

ИЗ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА УКРАИНЕ. 1919, № 4—6.

ТАЯ-МУЮНСКИЙ РАДИЕВЫЙ РУДНИК. 1924, № 1—6.

РЕНТГЕНОВСКИЕ ЛУЧИ В ХИМИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ. 1925, № 4—6.

ЗАДАЧИ ГЕОХИМИИ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ МУЗЕЙ АКАДЕМИИ НАУК. 1925, № 7—9.

СОВРЕМЕННЫЕ ПУСТЫНИ. 1926, № 5—6.

ИСТОРИЯ АТОМА В ИСТОРИИ ЗЕМЛИ. 1929, № 4.

ПРОБЛЕМЫ ХИБИНСКИХ И ЛОВОЗЕРСКИХ ТУНДР. 1929, № 5.

ЗАКОНЫ ЭВОЛЮЦИИ В ХИМИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ. 1930, № 3.

К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ БОГАТСТВ УРАЛА. 1931, № 3.

ГЕОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ. 1935, № 9.

ОТ ГЕОЛОГИИ СИБИРИ К ЕЕ ГЕОХИМИИ. 1938, № 11—12.

АПАТИТО-НЕФЕЛИНОВАЯ ПРОБЛЕМА в 1930, 1940 и 1950 гг. 1940, № 1.

ИСКОПАЕМЫЕ БОГАТСТВА КРЫМА. 1944, № 4.

Космические исследования

Запуски космических аппаратов в СССР (май—июнь 1983 г.)

В мае—июне 1983 г. в Советском Союзе запущено 16 космических аппаратов, в том числе 13 спутников серии «Космос» с научной аппаратурой, предназначенной для продолжения исследований космического пространства. «Космос-1462» и «Космос-1468» продолжают исследовать природные ресурсы Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства СССР и международного сотрудничества. Информация со спутников поступает в Государственный научно-исследовательский и производственный центр «Природа» для обработки и использования.

Автоматические межпланетные станции «Венера-15» и «Венера-16» запущены для продолжения исследования Венеры с орбит ее искусственных спутников. Помимо советской научной аппаратуры, на станциях установлены приборы, изготовленные в ГДР¹.

На транспортном космическом корабле «Союз Т-9» стартовал экипаж в составе: командир корабля летчик-космонавт СССР В. А. Ляхов и бортинженер А. П. Александров. 28 июня 1983 г. в 14 ч 46 мин по московскому времени «Союз Т-9» состыковался с орбитальным комплексом «Салют-7» — «Космос-1443»; космонавты перешли на борт станции «Салют-7». С 28 июня экипаж приступил к работе на борту орбитального комплекса «Салют-7» — «Союз Т-9» — «Космос-1443». В программу работы космонавтов входят: изучение поверхности Земли и ее атмосферы

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей, км	апогей, км	наклонение, град	период обращения, мин
«Космос-1459»	6.V	960	1028	83	104,8
«Космос-1460»	6.V	218	369	70,3	90,1
«Космос-1461»	7.V	438	457	65	93,3
«Космос-1462»	17.V	224	318	82,3	89,5
«Космос-1463»	19.V	307	1570	82,9	103,5
«Космос-1464»	24.V	985	1022	82,9	104,9
«Космос-1465»	26.V	349	551	50,7	93,4
«Космос-1466»	26.V	180	367	64,9	89,7
«Космос-1467»	31.V	209	389	72,9	90
«Венера-15»	2.VI	—	—	—	—
«Венера-16»	7.VI	—	—	—	—
«Космос-1468»	7.VI	227	283	82,3	89,3
«Космос-1469»	14.VI	211	377	72,8	90
«Космос-1470»	23.VI	645	680	82,5	97,8
«Союз Т-9»	27.VI	258	303	51,6	90
«Космос-1471»	28.VI	182	369	67,2	89,7

сферы в интересах различных отраслей народного хозяйства, астрофизические и медико-биологические исследования, технологические и технические эксперименты, отработка методов управления крупногабаритными пилотируемыми комплексами.

Космические исследования

«Союз Т-9»

27 июня 1983 г. в 13 ч 12 мин по московскому времени в Советском Союзе был запущен транспортный космический корабль «Союз Т-9» с экипажем в составе: командир корабля летчик-космонавт СССР В. А. Ляхов и бортинженер А. П. Александров. Ракета-носитель вывела корабль на околоземную орбиту, параметры которой после коррекции составили: высота в апогее 303 км, в перигее — 258 км, наклонение 51,6°, период обращения 90 мин.

На следующий день в 14 ч 46 мин «Союз Т-9» состыковался с орбитальной научной стан-

цией «Салют-7» и экипаж перешел в ее помещение.

В программу работы экипажа вошло изучение атмосферы и поверхности Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства, астрофизические, медико-биологические, технологические и технические исследования, отработка методов управления крупногабаритными пилотируемыми комплексами.

Свою работу космонавты начали с расконсервации станции «Салют-7» и разгрузки спутника «Космос-1443», который был состыкован со станцией. «Космос-1443» — новый элемент научно-исследовательского орбитального комплекса, общая масса которого достигает 47 т, а длина почти 35 м. Масса «Космоса-1443» на орбите с полезной нагрузкой превышает 20 т, длина более 13 м, его диаметр в широкой части свыше 4 м, размах панелей солнечных батарей 16 м, суммарная площадь их фотоэлементов достигает 40 м². Новый корабль-спутник проектировался как многоцелевой космический объект; уже сегодня можно гово-

¹ Подробнее о «Венера-15» и «Венера-16» см.: Природа, 1983, № 9, с. 103.



Командир корабля «Союз Т-9»
лётчик-космонавт СССР
В. А. Ляхов.



Бортинженер корабля «Союз Т-9»
А. П. Александров.

речь о двух его «профессиях» — грузового корабля и межорбитального буксира. «Космос-1443» выполнен в грузовом варианте; он состоит из орбитального блока и грузовозвращаемого аппарата, способного доставить на Землю около 500 кг полезных грузов. Орбитальный блок позволяет увеличить полезную рабочую площадь, которую могут использовать космонавты.

Примененный в настоящем полете вариант конструкции корабля-спутника не единичен; орбитальные элементы подобного типа могут служить, в частности, основой конструкций орбитальных модулей различного назначения. Тем самым отечественная космонавтика подошла к созданию специализированных модулей, каждый из которых может стать научной лабораторией или промышленной установкой.

После разгрузки «Космоса-1443» экипаж приступил к научным исследованиям и экспериментам. Были включены масс-спектрометрическая аппаратура «Астра-1» для исследования состава атмосферы вокруг орбитального комплекса, малогабаритный γ -телескоп «Елена» и прибор «Рябина» для получения информации о потоках γ -излучения и заряженных час-

тиц в околоземном космическом пространстве.

Проведена первая серия комплексных исследований земной поверхности с помощью стационарной фотоаппаратуры КАТЭ-140, МКФ-6М, а также болгарского спектрометра «Спектр-15» и разработанного специалистами ГДР спектрометра МКС-М. Получены изображения Черного и Каспийского морей, отдельных районов Кавказа, северного Каспия, Горного Алтая, Памира, Приморского края, а также Крыма и Каракумов.

Для объективной оценки состояния здоровья космонавтов проведено первое комплексное медицинское обследование экипажа; исследовались биоэлектрическая активность сердца в условиях покоя и реакция сердечно-сосудистой системы на имитацию гидростатического давления.

За месяц работы на орбите космонавты выполнили свыше 30 научных экспериментов.

С. А. НИКИТИН
Москва

Космические исследования

Спутник «ЭКЗОСАТ»

26 мая 1983 г. с Западного испытательного полигона

(авиабаза Ванденберг, шт. Калифорния) американской ракетой-носителем «Торад-Дельта» запущен спутник «ЭКЗОСАТ» массой 380 кг, созданный Европейским космическим агентством (ESA). Спутник выведен на сильно вытянутую эллиптическую орбиту с высотой в перигее 340 км, в апогее — около 192 тыс. км, наклоном 72,5° и периодом обращения около 95 ч. Научная аппаратура «ЭКЗОСАТа» (117 кг) будет работать в течение примерно 80 ч на каждом витке, когда спутник будет находиться на высотах более 50 тыс. км, т. е. за пределами пояса радиации.

«ЭКЗОСАТ» предназначен для астрономических исследований в рентгеновском диапазоне длин волн положения, структурных, спектральных и временных характеристик космических источников рентгеновского излучения с энергией от 0,05 до 50 кэВ. В состав научной аппаратуры входят два идентичных телескопа для регистрации рентгеновского излучения низкой энергии (с получением изображения), комплект пропорциональных счетчиков, регистрирующих рентгеновское излучение средних энергий и газовый сцинтилляционный пропорциональный счетчик. Масса одного телескопа 30 кг, потребляемая энергия 5 Вт; масса комплекта пропорциональных счетчиков 48 кг, общая площадь поверхности чувствительных элементов 0,2 м², энергетический диапазон 1,8—50 кэВ, потребляемая электроэнергия 17 Вт; масса газового счетчика 9 кг, площадь поверхности чувствительных элементов около 200 см², энергетический диапазон 2—20 кэВ, потребляемая энергия 1,5 Вт.

Научная аппаратура спутника предназначена для решения следующих задач:

точное определение положения рентгеновских источников, излучающих в диапазоне 0,04—2 кэВ (0,6—30 нм), ошибка в определении положе-

¹ EXOSAT (European X-ray Observatory Satellite) — Европейский спутник-обсерватория для исследований в рентгеновских лучах.

ния не больше 10" (с помощью телескопов), и источников, излучающих в диапазоне 1,5—50 кэВ, ошибка примерно 2" (с помощью пропорциональных счетчиков);

картографирование диффузных протяженных источников низких энергий с помощью телескопов;

широкополосная спектроскопия рентгеновских источников, излучающих в диапазоне 0,04—80 кэВ (используются все приборы спутника);

спектроскопия точечных источников с использованием диффузных решеток телескопов;

исследование временных вариаций характеристик излучения от рентгеновских источников (периоды от микросекунд до суток);

поиск новых источников рентгеновского излучения.

Предполагается, что спутник будет активно функционировать в течение двух лет.

Report on the scientific satellite of the European Space Agency, 1983, May, p. 41—46; ESA News Release, 28.IV, 18.V 1983.

Космические исследования

Исследования полярных сияний

Проведен очередной, третий эксперимент по канадско-американской программе «Waterhole», цель которой — изучение полярных сияний. В верхние слои атмосферы с помощью ракеты во время полярного сияния был заброшен азотно-водородный и нитрато-кальциевый заряд массой 200 кг, который своим взрывом и выбросом водяных паров нарушил строение дуги сияния. Молекулы воды, вступив во взаимодействие с ионосферной плазмой, существенно уменьшили ее плотность.

Палада не только плотность плазмы, но изменялось и распределение частиц в ней, наблюдались характерные перемены в структуре сияния, позволяющие судить о его строении и составе. Данные обо всех этих изменениях были получены с помощью геофизической ракеты, которая была запу-

щена в «дыру», образовавшуюся в полярном сиянии после взрыва заряда.

Обработка данных наблюдений позволила подтвердить теорию, согласно которой полярные сияния вызываются частицами, создающими электрические токи. Эти токи втекают в ионосферу из магнитосферы. Удалось наблюдать образование новых электрических полей перед тем, как восстанавливается структура плазмы, нарушенная взрывом.

Помимо чисто теоретического, исследования имеют и прикладное значение, так как полярные сияния влияют на распространение радиоволн и работу высоковольтных линий электропередачи, а возможно, и на явления погоды.

New Scientist, 1983, v. 97, № 1345, p. 426 (Великобритания).

Планетология

Получили имена 8 марсианских кратеров

На XVIII Генеральной ассамблее Международного астрономического союза, проходившей осенью 1982 г. в г. Патры (Греция), утверждены названия восьми крупных кратеров, расположенных в различных районах Марса. Названия предложены советскими астрономами и планетологами в память исследователей, чьи научные результаты имеют отношение к природе Марса.

Таблица

Название кратера	Координаты	
Алексей Толстой	48° ю. ш.	234° з. д.
Докуцаев	61° ю. ш.	127° з. д.
Ибрагимов	25,5° ю. ш.	59° з. д.
Криштофович	48° ю. ш.	262° з. д.
Норденшельд	53° ю. ш.	159° з. д.
Семейкин	42° с. ш.	351° з. д.
Сытинская	43° с. ш.	52° з. д.
Тимошенко	42° с. ш.	64° з. д.

Четыре кратера получили имена советских астрономов, занимавшихся фотометрическими исследованиями Марса: Н. Н. Сытинской (1906—1974), работавшей в Ленинградском университете; Б. Е. Семейкина (ок. 1900—1937) и И. Ф. Тимошенко (1918—1941) — сотрудников Харьковского университета; Н. Б. Ибрагимова (1932—1977), проводившего наблюдения на Шамахинской обсерватории АН АзербССР. Другие кратеры названы в честь русского почвовед В. В. Докучаева (1846—1903), создавшего учение о широтной зональности природных образований; советского палеоботаника А. Н. Криштофовича (1885—1953), изучавшего возможность развития растительности на Марсе, и шведского геолога и географа, полярного исследователя Н. А. Норденшельда (1832—1901). В память А. Н. Толстого (1882—1945), описавшего в своем фантастическом романе «Аэлита» природу, спутники и жителей Марса, один из его кратеров получил имя писателя.

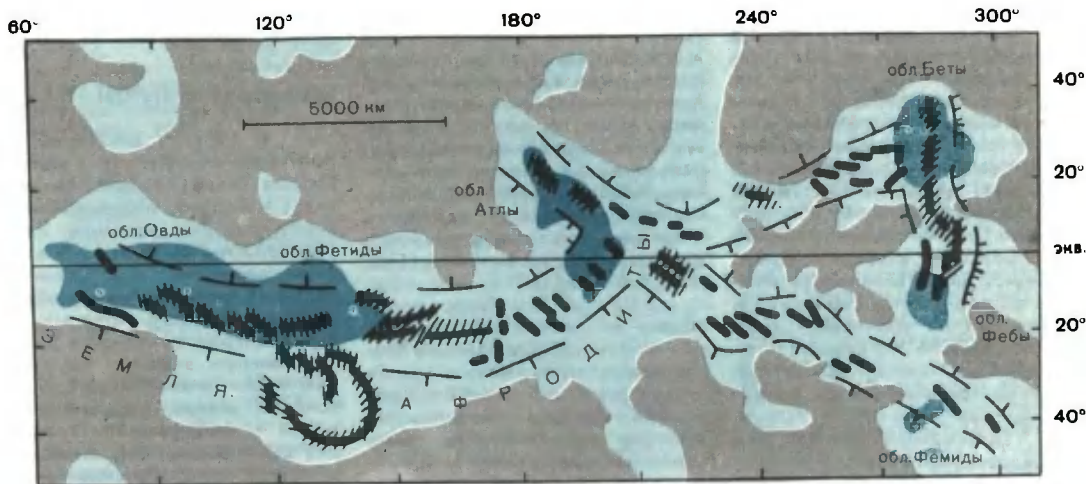
Г. А. Бурба

Москва






Планетология

Рифтовые зоны на Венере

Дж. Шабер (J. Shaber; Управление геологической съемки США) по данным спутника «Пионер-Венера» о высотах рельефа, с учетом уклонов и шероховатости поверхности, выявленных при радиолокации



Зоны тектонических нарушений на Венере, состоящие из серий каньонов, многие из которых обрамлены грядями.

-  Зоны тектонических нарушений
-  Каньоны
-  Гряды.
-  Области, расположенные выше среднего уровня (выше 6051,5 км)
-  Еще более высокие участки

Венеры, составил карту тектонических нарушений ее коры. Он выделил области, для которых характерны гряды и вытянутые понижения, более крутые, чем в соседних областях, уклоны и повышенная пересеченность поверхности. Такие области со сложным рельефом образуют на Венере три протяженные полосы длиной во многие тысячи километров.

Наиболее крупная из них проходит в северо-восточном направлении — от земли Афродиты к области Бета, протянувшись на 21 тыс. км. Эта зона располагается вдоль южных склонов областей Овды и Фетиды, пересекает область Атлы и подходит с запада к области Бета. Вторая по протяженности полоса тектонических

нарушений, длиной 14 тыс. км, идет в северо-западном направлении от области Фемиды до северо-западного окончания области Атлы. Третья зона, длиной 6 тыс. км, протянулась с севера на юг от области Бета до области Фебы.

Зоны тектонических нарушений пересекаются в областях Атлы и Бета, где, как предполагается, сосредоточена вулканическая активность планеты. В поясах тектонических нарушений расположены удлиненные впадины — каньоны. Они имеют ширину 75—100 км, глубину до 2—3 км и протяженность в несколько сот километров. Размерами и особенностями строения каньоны Венеры напоминают рифтовые впадины на материках Земли, например Восточно-Африканские впадины или Байкальскую. Каньоны Венеры ограничены с обеих сторон грядями, возвышающимися на 0,5—2,5 км над окружающей поверхностью равнины. Склоны рельефа в комплексах гряд и каньонов очень крутые — более 10°. Рельефность каньонов указывает на молодой геологический возраст этих образований.

Каньоны на Венере, подобно рифтам Земли, образовались в областях подъема и растяжения коры. Расчеты Шабера, базирующиеся на размерах каньонов Венеры, показали, что толщина коры составляет 50—70 км; это примерно в полтора раза больше, чем у Земли. Ве-

личина растяжения коры Венеры в районах каньонов составляет, по оценкам, несколько десятков километров. Главными процессами в коре Венеры являются вертикальные движения, в результате которых образуются разломы, и вулканическая деятельность. Оба процесса приводят к возникновению пологих поднятий, утоньшению коры; в итоге в рельефе возникают системы каньонов — рифтов.

Geophysical Research Letters, 1982, v. 9, № 5, p. 499—502 (США).

Астрофизика

Мощные аннигиляционные вспышки на поверхности нейтронных звезд

Более 15 лет назад было обнаружено, что поток космического γ -излучения иногда внезапно повышается в сотни и даже тысячи раз. Объяснения этому явлению до сих пор не найдено, хотя общепризнано связывать его с нейтронными звездами.

¹ Подробнее об этом см.: Голенецкий С. В., Мазец Е. П. «Венера-11 и 12» исследуют космические γ -всплески. — Природа, 1979, № 10, с. 30.

В советском эксперименте «Конус»¹ зарегистрировано около 350 γ -всплесков. (До начала эксперимента «Конус» это число не превышало 80.) К наиболее важным результатам «Конуса» следует отнести обнаружение во многих энергетических спектрах дефицита излучения при энергиях меньше 100 кэВ и широких эмиссионных линий при больших энергиях (около 400—450 кэВ). По мнению авторов эксперимента, особенности первого типа возникают из-за циклотронного поглощения излучения в сильном магнитном поле нейтронной звезды напряженностью 10^{12} — 10^{13} Гс. Широкие эмиссионные линии они отождествляют с линией 511 кэВ, возникающей при аннигиляции электрон-позитронных пар и смещенной в область меньшей энергии из-за большого красного смещения в гравитационном поле нейтронных звезд.

Параллельно эксперименту «Конус» на межпланетных станциях «Венера 11—14» проводился советско-французский эксперимент «Снег» по исследованию космических γ -всплесков. В нем спектральные измерения велись с более высоким временным разрешением: если в «Конусе» каждый спектр регистрировался в течение 4 с, то время регистрации спектра прибором «Снег-2М» составляло всего 0,25 с. Учитывая быструю переменность потока излучения во время γ -всплеска, можно было ожидать, что «Снег» даст новую информацию об этом явлении.

Необходимо заметить, что процедура восстановления энергетических спектров γ -всплесков по данным отсчетов детекторов является сложной и, вообще говоря, неоднозначной. Поэтому не всегда выводы разных групп исследователей совпадают. Так, американские астрофизики, работающие со спутником «ISEE-3», не подтвердили данные «Конуса» относительно γ -всплеска 4 ноября 1978 г.

Первые результаты «Снега» как раз относились к событию 4 ноября 1978 г. Вместо 3 спектров, зарегистрированных в экспериментах «Конус» и на

«ISEE-3», были получены и проанализированы 18 спектров. Как и ожидалось, спектры, относящиеся даже к близким моментам времени, сильно отличались друг от друга. В ряде спектров была обнаружена мощная широкая эмиссионная дельта в области 400 кэВ, интенсивность которой в одном из спектров составила огромную для γ -астрономии величину (14 ± 2) фотонов/см²·с.

Данные эксперимента «Снег» не просто подтвердили результаты «Конуса». Было обнаружено, что во время γ -всплеска 4 ноября 1978 г. произошли мощные короткие вспышки излучения, которое, вероятно, имеет аннигиляционную природу. Они коррелировали с пиками интенсивности полного излучения всплеска. Во время вспышек поток энергии в линии достигал 20% от полного потока. Если принять, что расстояние до источника γ -всплеска составляет примерно 100 пс, то необходимый для генерации линии темп аннигиляции был равен примерно 10^{43} позитронов/с. Мгновенная светимость нейтронной звезды в аннигиляционной линии более чем в тысячу раз превосходила полную светимость Солнца и сравнялась в этот момент со светимостью всей Галактики (в этой линии).

Во время каждой из вспышек должно было аннигилировать примерно 10^{16} г позитронов. Они не могли попасть на поверхность нейтронной звезды в результате падения какого-либо тела из антивещества (например, антистероида или антикометы), так как в этом случае полная энергия, выделяющаяся в γ -всплеске из-за аннигиляции антинуклонов, была бы примерно в 2 тыс. раз больше. Более вероятно, что позитроны рождаются во время всплеска. Корреляция аннигиляционных вспышек с пиками потока γ -лучей указывает на то, что рождение позитронов и генерация γ -квантов происходят в едином физическом процессе, природу которого еще предстоит понять.

Материалы рабочей группы «Электрон-позитронные пары в астрофизике». 1983. Грин Бэнк, США.

Метеорит с Луны!

В 1982 г. американские полярики обнаружили в районе холмов Аллан (Западная Антарктида) метеорит, получивший по месту находки название Allan Hills (ALHA-81005). Его образцы были переданы для изучения двадцати различным исследовательским группам, которые недавно опубликовали свои предварительные выводы. По мнению многих, в том числе Б. Мейсона (В. Mason; Национальный музей естественной истории США, Вашингтон), метеорит обладает поразительным сходством с лунными породами, доставленными в свое время на Землю астронавтами, посещавшими Луну.

В пользу возможного лунного происхождения метеорита говорит, в частности, соотношение в нем стабильных изотопов кислорода, свойственное лишь Земле и Луне, но не другим небесным телам. О том же свидетельствует соотношение в нем железа и марганца. Еще одним подтверждением выдвинутого предположения служит общее строение метеорита. Это — типичная брекчия (т. е. конгломерат «склеившихся» разнородных геологических пород), состоящая из анортозитов — пород, весьма обычных для лунных нагорий, но почти не встречавшихся в известных до сих пор метеоритах.

Необычно также присутствие в веществе метеорита розоватых магний-алюминиевых шпинелей, которые ни на Земле, ни в обычных метеоритах не наблюдались, зато характерны для образцов лунного происхождения.

Ряд астрономов и ранее предполагал возможность того, что падение на Луну достаточно крупных небесных тел может «выбивать» с ее поверхности обломки, приобретающие скорость, необходимую для достижения Земли. Дальнейшее изучение метеорита ALHA-81005 (в том числе анализ взаимодействия его вещества с космическими лучами, с помощью которого можно установить время пребывания метеорита в космо-

се) должно подтвердить или опровергнуть выдвинутую гипотезу.

EOS, 1982, v. 63, № 48, p. 1193; Antarctic Journal of the United States, 1982, v. XVII, № 4, p. 8—9; Smithsonian Institution Research Reports, Winter, 1983, p. 7 (США).

Физика

Наблюдение распадов «прелестных» мезонов

На встречных электрон-позитронных пучках «CESR» в Корнеллском университете (Итака, США) обнаружены распады В-мезонов, состоящих из одного «прелестного» кварка b (или \bar{b}) и одного обычного кварка (d или \bar{u}). Итак, получено прямое доказательство существования «прелестных» мезонов B , в которых квантовое число «прелестья» не компенсируется «антипрелестью» соответствующего антикварка, как это происходит в семействе Υ -мезонов, построенных из пар ($b\bar{b}$). Получены значения масс нейтрального B^0 ($5274,2 \pm 1,9 \pm 2,0$ МэВ) и заряженного B^\pm -мезона ($5270,8 \pm 2,3 \pm 2,0$ МэВ).

Как известно, сейчас открыты четыре частицы Υ -семейства. Ширина¹ первых трех из них мала, т. е. они являются достаточно стабильными частицами. Четвертая частица, Υ''' , менее стабильна: ее ширина почти в 200 раз превышает ширину легчайшего из Υ -мезонов, и во столько же раз быстрее эта частица распадается. Это означает, что для Υ''' открыты дополнительные каналы распада по сравнению с менее массивными Υ , Υ' и Υ'' .

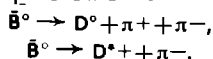
Новые каналы — распады на пару $B\bar{B}$ -мезонов. Отсюда следует, что масса «прелестных» мезонов меньше половины массы Υ''' , но больше половины

массы Υ'' : $5,17 \text{ ГэВ} < M_B < < 5,29 \text{ ГэВ}$.

Была сделана попытка обнаружить В-мезоны по распадам Υ''' на «очарованные» мезоны, электроны (или мюоны) и соответствующие нейтрино. В 1981 г. физики Корнеллского университета обнаружили присутствие в продуктах распада Υ''' лептонов с большой энергией; сечение этого процесса содержало пик, который объясняли рождением на промежуточном этапе В-мезонов; была оценена относительная вероятность лептонных распадов В-мезонов². Однако до сих пор процессы рождения и распада В-мезонов непосредственно не наблюдались. Теперь об открытии мезонов, несущих «обнаженную прелесть», объявлено официально.

Согласно кварковой модели, В-мезоны имеют состав: $B^0(b\bar{d})$, $\bar{B}^0(\bar{b}d)$, $B^-(b\bar{u})$ и $B^+(b\bar{u})$. «Прелестный» b -кварк преимущественно распадается с образованием «очарованного» c -кварка. Поэтому процесс распада, например B^- -мезона, происходит следующим образом. «Прелестный» b -кварк испускает промежуточный бозон W^- , переходя в «очарованный» c -кварк. Кварки c и \bar{u} образуют «очарованный» мезон³ D^0 , а отрицательно заряженный промежуточный бозон распадается на электрон и антинейтрино. В целом лептонный распад B^- -мезона имеет вид: $B^- \rightarrow D^0 + e^- + \bar{\nu}_e$. Именно такие распады искали в Корнелле в 1981 г. В нынешних экспериментах исследовались распады В-мезонов на «очарованные» частицы и пионы, например $B^- \rightarrow D^0 + \pi^-$. Такой распад происходит по цепочке реакций, в которой промежуточный бозон распадается на пару кварков d и \bar{u} . Кварки s и \bar{u} по-прежнему объединяются в D^0 -мезон, а d и \bar{u} образуют отрицательный пион. Возможны и распады с образованием двух заряженных пионов: $B^- \rightarrow D^{*+} + \pi^- + \pi^-$. Мезон D^{*+} состоит из кварков ($c\bar{d}$), а звездочка означает, что его спин равен единице, в от-

личие от D^+ -мезона с тем же кварковым составом и спином 0. Аналогично выглядят распады и нейтральных В-мезонов:



Основной результат новых корнеллских экспериментов заключается в том, что они продемонстрировали существование В-мезонов, обнаружив все описанные распады при изучении конечных состояний, возникающих в соударениях электронов и позитронов. Найдено, что Υ''' распадается на пару B^+B^- с относительной вероятностью $60 \pm 2\%$, а на пару $B^0\bar{B}^0$ — с вероятностью $40 \pm 2\%$. Кроме того, определены относительные вероятности различных распадов В-мезонов. О трудности экспериментов можно судить по тому, что найдено всего 18 распадов «прелестных» мезонов. Для этого потребовалось в течение 9 месяцев записать и проанализировать 150 тыс. событий.

Physical Review Letters, 1983, v. 50, p. 881 (США).

Физика

Еще раз о лазерной дрели

«Природа» уже писала о некоторых проблемах лазерной сверления металлов¹. Однако вопрос об отношении диаметра отверстия к глубине не обсуждался. Дело в том, что при сверлении отверстий диаметром менее 0,5 мм трудно получить высококачественный результат, если отношение глубины к диаметру более 20, т. е. для глубин, превышающих 10 мм.

Используя метод рефокусировки (т. е. последовательной перефокусировки лазерного луча по мере плавления отверстия), китайские физики под руководством Лан Вэйтяня получили отверстие глубиной 16,2 мм при диаметре 0,25 мм, т. е. отношение глубина — диаметр составляло примерно 65.

Лазерный журнал, 1982, т. 9, № 11, с. 50 (КНР); Laser Focus, 1983, v. 19, № 4, p. 77 (США).

¹ Имеется в виду ширина резонансного пика в графике зависимости сечения реакции $e^+ + e^- \rightarrow \Upsilon$ от полной энергии электрон-позитронных пучков. По подобным резонансам судят о рождении короткоживущих частиц.

² Природа, 1981, № 12, с. 97.

³ Азимов Я. И., Хозе В. А. Тяжелые кварки и лептоны.— Природа, 1979, № 5, с. 9.

¹ Природа, 1983, № 3, с. 110.

Физика

Пористые катализаторы

При осуществлении гетерогенного катализа необходимо максимально увеличить площадь соприкосновения катализатора с веществами, участвующими в реакции. Обычно для этого используют катализатор в виде мелких гранул или порошка. Однако увеличить поверхность можно и другими способами, используя, например, объемные образцы катализатора с так называемой развитой поверхностью (ее площадь во много раз превосходит геометрическую площадь поверхности образца).

В 1980 г. было установлено, что при кристаллизации вещества из переохлажденной фазы плоский фронт кристаллизации неустойчив¹. В результате такой «неустойчивой» кристаллизации могут возникать пористые структуры с сильно развитой поверхностью.

В экспериментах, выполненных под руководством Ф. В. Бункина (лаборатория колебаний Института общей физики АН СССР), изучалось окисление ванадия до пятиоксида ванадия (V_2O_5) под воздействием лазерного излучения (V_2O_5 — один из весьма эффективных катализаторов).

Непрерывное излучение CO_2 -лазера мощностью до 50 Вт падало на мишень — тонкую (300 мкм) пластинку из ванадия размерами 5—10 мм. Температура мишени в зоне облучения составляла 1000—1200°C, что заметно превосходило температуру плавления V_2O_5 , поэтому синтез окисла проходил в жидкой фазе. Примерно за 1 минуту на поверхности мишени вырастал слой окисла толщиной 100—200 мкм. После выключения лазера мишень остывала, и происходила кристаллизация жидкого окисла.

Как показал спектроскопический анализ поверхности мишени, основную часть окис-



Центры кристаллизации и пластинчатые монокристаллы V_2O_5 , образовавшиеся вдали от зоны прямого лазерного воздействия (вверху); развитая сеть трубчатых кристаллов V_2O_5 в зоне прямого действия лазерного излучения (внизу).

ного слоя составляет V_2O_5 . Исследование поверхности остывшей мишени методами электронной микроскопии, а также с помощью лазерного проекционного микроскопа позволило установить, что на периферии мишени, вдали от зоны прямого воздействия лазерного излучения, имеются центры кристаллизации, отстоящие друг от друга на 0,1—1 мм; вокруг них

параллельно поверхности располагаются пластинчатые монокристаллы V_2O_5 . В зоне прямого лазерного воздействия образовывалась густая сеть пористых трубчатых кристаллов V_2O_5 с сечением «труб» $10\text{--}10^3$ мкм² и длиной 0,1—0,5 мм; характерный размер пор составил 0,5—1 мкм. Оценки показывают, что в результате лазерного воздействия эффективная поверхность кристаллов V_2O_5 увеличилась в $10^3\text{--}10^4$ раз.

Квантовая электроника, 1982, т. 9, № 10, с. 1943.

Физика

Метастабильные сверхпроводящие фазы

Поиски равновесных сверхпроводников с температурой перехода в сверхпроводящее состояние T_K вблизи теоретического максимума (30—50 К) пока не увенчались успехом. Поэтому интенсивно ведутся работы по синтезу сверхпроводящих метастабильных фаз с улучшенными характеристиками — повышенными значениями T_K , I_K (критический ток), H_K (критическое магнитное поле). Для этого используются экстремальные воздействия: сверхбыстрое охлаждение, сверхвысокое давление, энергия взрыва, лазерное плавление и т. д. Дело в том, что в экстремальных условиях синтеза и обработки происходит фиксация неустойчивых при низких температурах соединений и высокотемпературных модификаций, а также фиксация твердых растворов с составом, приближающимся к стехиометрическому. (Именно стехиометрическим составом в большинстве случаев и соответствуют максимальные T_K .) Поэтому бертоллиды и примыкающие к ним группы соединений — резерв в поиске сверхпроводников с высокой T_K .

Сотрудники Института металлургии им. А. А. Байкова АН СССР под руководством Е. М. Савицкого при сверхбыстрой закалке сплавов V—Al и V—In получили новые метастабильные фазы V_3Al и V_3In

¹ Анисимов С. И., Трибелский М. И.— Письма в ЖТФ, 1980, т. 6, № 1, с. 31.

с T_k 9,3—11,8 и 13,9 К. Сверхбыстрая закалка исходно нестехиометрических фаз (например, Nb_3Ga , Nb_3Ge , V_3Ge , V_3Sn) позволила получить метастабильные состояния с составом, приближенным к стехиометрическому; в результате их T_k повысилась до 19—21,2; 15—17; 7,5—11,2 и 12,3—17,9 К.

Под воздействием высокого, до $7 \cdot 10^3$ МПа, давления и температуры около 2000 К было синтезировано соединение Nb_3Ge с $T_k=19$ —19,4 К. Это наивысшее значение для массивных образцов подобного состава. При действии высокого давления на систему Ta—Pb была получена новая метастабильная фаза Ta_3Pb с $T_k=17$ К (в обычных условиях получают системы с T_k не выше 4 К). При сверхбыстрой закалке легированного кремнием Nb_3Ge получен материал с $T_k=17,7$ К. В системе $Nb_3(Al, Ge)$ — Cu, легированных медью, T_k после сверхбыстрой закалки сплавов возросла почти в 1,5 раза.

Таким образом, сочетание экстремальных воздействий с легированием имеет большие перспективы в технике получения сверхпроводников.

Доклады АН СССР, 1983, т. 269, № 1, с. 114—116.

Физика

Выращивание больших кристаллов для лазеров

Ф. Шмид и Ч. Хаттак (F. Schmid, C. Khatтак; фирма «Кристалл Системс», Салем, США) с помощью нового метода пытаются выращивать большие кристаллы фторида магния, легированного кобальтом (Со: MgF_2). Метод, получивший название метода теплообменника, позволяет выращивать большие лазерные кристаллы необычайно высокого оптического качества. Ранее аналогичным способом были выращены кристаллы сапфира и кремния.

В методе теплообменника кристалл затвердевает непосредственно при росте из затравки на дне тигля. Как следует из названия, в этом методе с помощью потока гелия можно управлять температурным гра-

диентом в теплообменнике. В результате не возникают термические напряжения, которые обычно образуются в кристалле сразу после затвердевания. Таким образом, поскольку ликвидируются трещины и другие дефекты, связанные с термическими напряжениями, кристаллы можно выращивать до очень больших размеров.

В первых экспериментах был выращен кристалл $Co:MgF_2$ длиной 3,5 см и диаметром 4,4 см. В нем совершенно не было трещин, а концентрация кобальта, по-видимому, была чрезвычайно однородной по всему объему. Более того, кристалл не имел деформаций и почти не рассеивал света.

Лазер, созданный на основе кристаллов, которые были выращены по новой методике, имел КПД 32,5%. Это соответствует результатам, получаемым с лучшими кристаллами, выращенными методом направленной кристаллизации.

Laser Focus, 1983, v. 19, № 3, p. 28—30 (США).

Физика

Система искусственного интеллекта «РАСТР-2»

В СССР и за рубежом интенсивно ведется работа по созданию систем искусственного интеллекта для идентификации сложных молекул органических веществ по параметрам их спектров. В Институте геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР уже действует система «РАСТР», распознающая структуры молекул по их инфракрасным, ультрафиолетовым и масс-спектрам, а также по спектрам комбинационного рассеяния и протонного магнитного резонанса. Распознавание складывается из трех этапов: структурно-групповой анализ спектров на основе известных спектро-структурных корреляций; математический синтез структур из атомов и отобранных на предыдущем этапе фрагментов для заданной брутто-формулы; проверка каждой из синтезированных структур на соответствие с имею-

щимися экспериментальными спектрами.

Недавно для повышения эффективности система переведена на диалоговый режим: в системе «РАСТР-2» обмен информацией между человеком и ЭВМ идет через алфавитно-цифровой дисплей. Вначале ЭВМ производит опрос химика, одновременно поясняя ему, в какой форме ожидается от него ответ. Выясняется, какие виды спектров имеются в распоряжении, какие признаки и параметры спектров измерены (частоты, химические сдвиги, мультиплетности сигналов и т. п.). После ввода всей спектральной информации, а также брутто-формулы вещества задается режим построения импликаций — логических соотношений определенного вида или одиночных логических связей: если в спектре есть определенный признак, то молекула содержит соответствующий фрагмент или хотя бы один из подобных фрагментов. Предусмотрено 7 режимов формирования импликаций, маневрирование которыми позволяет в соответствии с конкретной задачей выбирать наиболее информативные виды спектров. После автоматического построения импликаций оператор может в любую из них внести изменения, убрать или добавить новые импликации.

Затем на дисплей выдают набор фрагментов, удовлетворяющие совокупности спектральной и химической информации, которые анализируются специалистом. По его усмотрению набор может быть аннулирован или изменен. Изменения касаются, например, порядка поступления фрагментов на математический синтез; можно исключить часть фрагментов или добавить фрагменты из библиотеки данных. После этого переходят к стадии синтеза структуры. ЭВМ задает оператору вопросы о режиме синтеза и фильтрации структур. Оператор может определить условия сшивания отобранных дискретных единиц структуры, указать максимальную кратность связей, что сокращает время синтеза, поскольку синтез структур с большей кратностью связей подвешен. Можно указать также режим выдачи информа-

ции о полученных структурах, в том числе и о тех, которые были зафиксированы, с указанием причин их непрохождения через библиотеку типовых фрагментов. В системе «РАСТР-2» проводится проверка синтезированных структур на их соответствие экспериментальным спектрам.

Эффективность «РАСТР-2» была подтверждена при идентификации 20 сложных молекул, таких как 1, 2, 3, 6-тетрагидро-3,6-эндометилен, фталевый ангидрид и сложные молекулы фосфорорганических соединений.

Доклады АН СССР, 1983, т. 268, № 1, с. 112—115.

Механика

Три парадокса в механике, вызываемые вибрацией

Известно, что в статике центр тяжести механической системы стремится занять устойчивое положение, при котором ее потенциальная энергия минимальна. В динамике этот принцип иногда нарушается: центр тяжести системы может занимать динамически устойчивое положение, при котором потенциальная энергия системы близка к максимальной. Пример тому — устойчивое положение «перевернутого» маятника с пульсирующей точкой подвеса, вращающийся гироскоп и др.

В экспериментах с вибрирующими жидкостями и твердыми телами В. Н. Челомей обнаружил три новых явления.

Первый парадокс связан с тяжелым шаром, находящимся в вибрирующей жидкости. В цилиндрический сосуд, заполненный жидкостью, помещается сплошной шар из материала с удельным весом, превышающим удельный вес жидкости. Сосуд ставят на вибрационный стенд и подвергают вертикальным колебаниям вдоль его оси. При определенной интенсивности колебаний шар всплывает. С дальнейшим увеличением интенсивности колебаний под шаром об-

разуется воздушное пространство — каверна, внутри которой находится небольшое количество жидкости, а остальная жидкость располагается над шаром. Система находится в устойчивом динамическом состоянии. Небольшое давление воздуха, создаваемое под шаром, легко поднимает его вверх вместе с каверной и находящейся там жидкостью. Устойчивое положение системы сохраняется и при переворачивании сосуда в вертикальной плоскости на 180°.

Можно наблюдать и обратное явление: цилиндрический предмет, легкий по сравнению с жидкостью, при вибрациях тонет. Автором разработана теория этого динамического процесса.

Второй парадокс — незакрепленная шайба на вертикальном вибрирующем стержне с нижней шарнирной опорой. Под действием силы тяжести шайба падает. Но если шарнирной опоре сообщить вертикальные колебания, шайба почти неподвижна, находясь как бы в невесомости, а стержень стоит почти вертикально. Это объясняется действием усредненных вибрационных сил и моментов. Автором предложена нелинейная система дифференциальных уравнений, описывающая движение рассматриваемой механической системы и содержащая члены уравнения с быстроменяющейся фазой.

Третий парадокс связан с повышением устойчивости упругих систем в условиях вибрации. Под действием нагрузки, вес которой превышает критическое значение, вертикальный прямоугольный стержень изгибается. Если же грузу с помощью находящегося на нем вибровозбудителя сообщить продольные колебания, стержень выпрямляется и груз занимает более высокое положение, чем до изгиба стержня.

По мнению автора, наблюдаемое явление можно рассматривать как обобщение одной из самых известных теорем Эйлера об устойчивости упругих систем при их статическом нагружении.

Доклады АН СССР, 1983, т. 270, № 1, с. 62—67.

Молекулярная биология

Регулирование активности генов и лечение наследственных заболеваний

Появились сообщения о первых успешных попытках лечения болезней крови — так называемой β -талассемии и серповидноклеточной анемии.

Оба заболевания связаны с дефектами генов, кодирующих синтез гемоглобина. При β -талассемии дефектность гена, кодирующего образование β -цепей белка глобина, выражается в замедлении скорости синтеза этих цепей по сравнению со скоростью синтеза α -цепей. Избыток α -глобина препятствует образованию нормальных эритроцитов. При серповидноклеточной анемии глутаминовая кислота, стоящая в 6-м положении β -цепи глобина, заменяется валином, что приводит к появлению дефектных серповидных эритроцитов.

Известно, что в эритроцитах плода имеется так называемый фетальный (или плодный) гемоглобин, построенный из α -и γ -цепей. У новорожденного синтез γ -глобина заменяется синтезом цепей β -глобина. Однако в некоторых случаях у взрослых людей синтезируется γ -глобин и образуется фетальный гемоглобин. Выключение гена γ -глобина, по-видимому, связано с его химической модификацией — присоединением к нему метильных групп. При активном состоянии гена γ -глобина этих групп было значительно меньше. Появились данные, что 5-азацитидин (аналог цитидина, одного из оснований ДНК), добавленный в культуру клеток, способен замещать метилцитидин во вновь синтезируемой ДНК, что иногда приводит к усилению активности некоторых генов.

Все это побудило Дж. Десимона (J. Desimone; медицинский колледж Чикагского университета, США) с сотрудниками испробовать действие 5-азацитидина на павианах (гены глобина этих обезьян сходны с человеческими). При потере большого количества крови или при других условиях, способных вы-

звать кислородное голодание тканей, кроветворные органы павианов наряду с нормальными начинают вырабатывать фетальный гемоглобин. После введения 5-азациитидина павианы стали вырабатывать фетальный гемоглобин в весьма больших количествах.

Тогда группа Десимона совместно с группой Т. Лея (T. Ley; Национальный институт здоровья, г. Бетесда, США) провели лечение этим препаратом трех больных β -талассемией. После недельного курса у всех больных в крови был обнаружен фетальный гемоглобин, состояние их здоровья значительно улучшилось, что сопровождалось увеличением числа эритроцитов в крови. Быстрый успех был достигнут и при лечении 5-азациитидином трех больных с серповидноклеточной анемией; у всех в крови появился фетальный гемоглобин. При исследовании клеток костного мозга, где вырабатывается кровь, в отрезке ДНК, содержащем ген γ -глобина, было обнаружено снижение количества метильных групп, что указывало на усиление активности этого гена.

Итак, впервые доказана возможность лечить наследственные заболевания путем регуляции активности отдельных генов.

New England Journal of Medicine, 1982, v. 307, p. 1469; Science, 1982, v. 218, № 4579, p. 1295; Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 1982, v. 79, № 14, p. 4428 (США).

Биохимия

Метаболизм ядов в эпителии носа

Хотя на основании косвенных данных, полученных при гистологическом и электронномикроскопическом исследовании эпителия верхних дыхательных путей, уже высказывалось предположение о наличии в нем высокой активности ферментов, осуществляющих превращение в организме чужеродных химических веществ,—

так называемых микросомальных монооксигеназ со смешанной функцией,— до последнего времени из-за больших методических сложностей прямого определения этих ферментов в слизистой оболочке носа провести не удавалось.

Недавно в США А. Дал и У. Хэдли (Alan R. Dahl, William M. Hadley; Институт ингаляционной токсикологии) впервые непосредственно определили активность микросомальных монооксигеназ со смешанной функцией в клетках слизистой оболочки носа у некоторых видов животных (крысы, собаки), исследовав при этом метаболизм 33 различных химических веществ — органических растворителей, эссенций, лекарственных препаратов, входящих в состав капель для носа, загрязнителей воздушной среды, никотина и кокаина. В процессе исследования изучалась скорость образования одного из обычных продуктов метаболизма — формальдегида, который обладает раздражающими и канцерогенными свойствами.

Установлено, что скорость образования формальдегида в слизистой оболочке носа для некоторых веществ всего лишь в 1,5 раза ниже, чем в таком специализированном на метаболизме химических веществ органе, как печень. Образование большого количества формальдегида в результате превращения различных соединений может быть причиной раздражения эпителия слизистой оболочки носа и, по мнению авторов, играет определенную роль в развитии злокачественных новообразований носоглотки.

Toxicology and Applied Pharmacology, 1983, v. 67, № 2, p. 200—205 (США).

Микробиология

Ризоторфин с молочной сывороткой

Бобовые культуры обычно выращивают в почве, добавляя необходимые для их жизнедеятельности клубеньковые бактерии (Rhizobium). Самый деше-

вый и доступный коммерческий препарат, созданный на основе таких бактерий,— ризоторфин. К сожалению, он содержит очень мало углеводов — основных источников питания бактерий, и потому количество бактерий в препарате, а следовательно, и хозяйственная эффективность самого ризоторфина снижаются при длительном хранении.

А. В. Хотянович, А. И. Позднякова, Э. Д. Михлин, В. П. Радина и Р. Н. Хандак (Всесоюзный научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии и Институт биохимии им. А. Н. Баха АН СССР) показали, что можно повысить биологическую активность ризоторфина, если в торф, где выращивают бобовые культуры, добавлять углеводы. Чтобы при изготовлении торфяных инокулятов (жидких бактериальных суспензий) выбрать для бактерий оптимальный источник энергии, они изучали влияние на их рост и размножение различных углеводов (галактозы, глюкозы, сахарозы, лактозы) и молочной сыворотки. Оказалось, что быстрорастущие клубеньковые бактерии гороха и люцерны при выращивании в жидкой питательной среде хорошо усваивают все перечисленные углеводы, а наибольший прирост биомассы дают в среде с добавкой молочной сыворотки. Но медленно растущие бактерии сои и люпина в жидкой среде питаются только галактозой и глюкозой. Если же эти бактерии выращивать в торфе, источником их питания может быть любой исследуемый сахар. (Причину обнаруженных различий в усвоении углеводов бактериями исследователи пока не выяснили.)

Эксперименты показали, что и быстро-, и медленно растущие клубеньковые бактерии развиваются в 3—4 раза скорее в торфе с добавками углеводов, чем без добавок. Кроме того, в ризоторфине при его хранении в течение 12 мес. клубеньковых бактерий сои и люпина оказывается на 25—40% больше, если в препарат добавлять молочную сыворотку — продукт дешевый и доступный.

Прикладная биохимия и микробиология, 1983, т. XIX, вып. 2, с. 256.

¹ См., например: Бонашаская Т. И.— Цитология, 1975, т. 17, № 12, с. 1351.

Этология

Большой клюв — малая агрессивность

Еще в 70-х годах высказывалось предположение, что животные, обладающие крупными рогами, клыками, когтями, должны избегать серьезных столкновений с себе подобными, чтобы уберечь вид от излишних потерь. Эта гипотеза находила подтверждение в наблюдениях над различными видами млекопитающих. Ныне английский этолог Дж. Серпелл (J. Serpell; Кембриджский университет) установил, что она справедлива и для некоторых птиц.

Наблюдения велись над 9 видами тропических попугаев из рода *Trichoglossus*. Использовалась обычная для них реакция агрессивности по отношению к своему отражению в зеркале. Предварительно измеряли у птиц размеры клюва, исследователь помещал их порознь перед зеркалом. Наибольшее число нападений совершали попугаи, у которых клюв был наименьшим (позволял лишь слегка ущипнуть действительного соперника). Попугаи, клюв которых был значительно крупнее и сильнее (мог даже расщеплять доску), проявляли существенно меньшую агрессивность.

Характерно, что демонстративное угрожающее поведение крупноклювых попугаев отличалось весьма большой сложностью и длительностью. Ранее английские зоологи Р. Доукинс и Дж. Кребс (R. Dawkins, J. Krebs; Оксфордский университет) высказывали мнение, что сложные демонстрации и большой арсенал сигналов позволяют постепенно наращивать угрозу сопернику и отдалять ее применение. Однако наблюдения Серпелла не подтвердили этого. Демонстративное поведение подопытных попугаев вовсе не шло по линии нарастания интенсивности; просто крупноклювые птицы пользовались большим разнообразием угрожающих поз, следующих друг за другом в случайном порядке. Серпелл предполагает, что пти-

цы пытаются «поразить» соперника богатым набором неожиданных и быстро сменяющихся поз, что может производить более сильное впечатление, нежели повторение немногочисленных символов.

Animal Behaviour, 1982, v. 30, № 4, p. 1244 (Великобритания).



Охрана природы

Успех проекта «Тигр»

Прошло 10 лет, как в Индии вступил в силу закон об охране диких животных и стали приниматься меры к спасению наиболее ценного их представителя — тигра. Согласно переписи 1972 г., на территории Индии обитало всего 1827 особей (по некоторым, возможно завышенным, оценкам, к началу века их численность достигала 40 тыс.).

С 1973 г. в стране по призыву X Генеральной ассамблеи Международного союза охраны природы и природных ресурсов осуществляется общегосударственный проект «Тигр». Охота на тигра полностью запрещена. Однако главной угрозой популяции было не столько прямое уничтожение, сколько резкое изменение среды обитания животного: дикие леса уступали место пахотным землям, пастбищам, лесоразработкам, поэтому тигры вынуждены были все чаще нападать на домашний скот, а местные жители в ответ прибегали к массовым облавам и истреблению хищника.

Руководящий комитет проекта «Тигр» разработал во главе с экологом Х. С. Панваром (H. S. Panwar) меры по охране тигра в девяти существовавших и двух создаваемых национальных парках и заповедниках. Общая площадь этих территорий — 15 800 км², из них 5142 км² представляют собой ядра соответствующих охраняемых территорий, где ведется изучение и особо тщательная охрана тигра. Кроме того, в стадии организации находится еще

четыре тигровых заповедника площадью более 7600 км². Составлены карты климата, почвы, геологических особенностей, биологических характеристик каждой из охраняемых территорий, определена их имущественная принадлежность, местонахождение ближайших населенных пунктов, численность их жителей, поголовье скота. Вокруг каждого ядра в заповеднике создана буферная зона, где разрешена ограниченная подконтрольная деятельность людей.

Приняты административные меры против браконьеров. В огромном большинстве население положительно откликнулось на решения властей. Жители 40 деревень (около 6 тыс. человек) согласились на переселение из ядер заповедников в места, где правительство предоставило им удобную для обработки землю, новые дома, школы, водоснабжение. В итоге состояние природной среды заповедников заметно улучшилось: возобновилась растительность, страдавшая от неумеренного выпаса скота, уменьшилась эрозия почвы, активизировалось образование гумуса в лесных почвах, чище стала вода в реках.

К 1979 г. общая численность тигров в Индии достигла 3015. Таким образом, всего за 7 лет рост составил 62%. Одновременно возросла, особенно в ядрах заповедников, численность слонов, носорогов, диких буйволов и оленей.

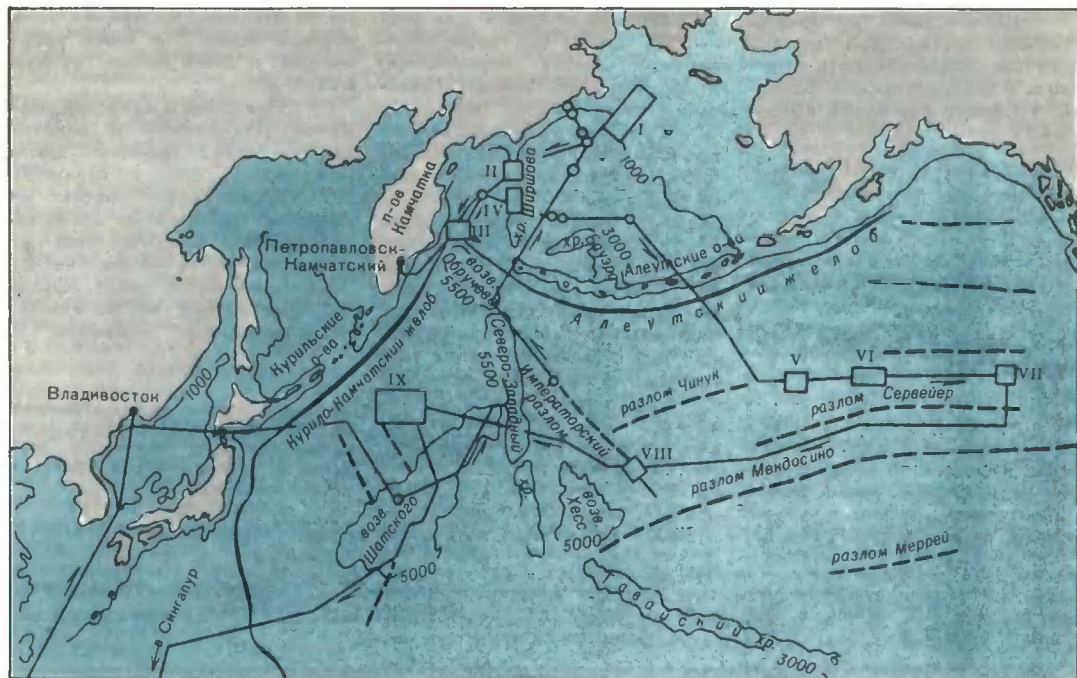
Хотя очевидно, что создание «островов» охраняемой природы еще не означает спасения фауны, флоры и всей среды обитания на огромной территории индийского субконтинента, все же успех проекта «Тигр», ставшего самым крупным начинанием такого рода в Азии, можно считать весьма показательным.

Ambio, 1982, v. XI, № 6, p. 337 (Швеция).

Геология

Геологические исследования в Тихом океане

С 5 июня по 9 октября 1982 г. научно-исследователь-



Маршрут 29-го рейса «Дмитрия Менделеева».

-  Маршрут судна
-  Полигоны
-  Станции
-  Группа станций
-  Разломы
-  Желоба

ское судно «Дмитрий Менделеев» совершало свой 29-й рейс. В экспедиции, организованной Институтом океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР и возглавлявшейся Ю. П. Непрочновым, принимали участие геологи, геофизики и геохимики ряда академических институтов страны. В соответствии с программой рейса, проходившего в северной части Тихого океана, включая Берингово море, изучались геофизические поля Земли, строение земной коры, в особенности верхней ее части — осадочного чехла, его геохимии

и газового режима с целью оценки нефтегазоносности.

В Беринговом море исследования велись на двух крупных полигонах — в районе Наваринского залива, вблизи побережья Чукотского п-ова, и на подводном хребте Ширшова, в западной части Берингова моря. Как установлено, в Наваринском заливе располагается большая сложно построенная депрессия земной коры. В ее пределах мощность осадочной толщи достигает 5—8 км. Этот крупный заполненный осадочными отложениями бассейн подстилается корой континентального типа — в ее пределах выделены слои со скоростями сейсмических волн порядка 2,6; 4,0 и 6,1 км/с.

В рейсе впервые определена мощность земной коры на хребте Ширшова: она достигает 18—20 км, т. е. примерно в два раза превышает мощность типичной океанической коры. Многочисленные драгировки показали, что хребет вдоль простирания (с севера на юг) неоднороден по строению. В его северной части с глубин 1900—890 м были подняты амфиболиты и зеленые сланцы со следами интенсивной тектониче-

ской переработки. Эти породы представляют собой образования нижней части земной коры, выведенные на поверхность при тектонических подвижках. Исходными для них служили, по-видимому, породы основного состава (так называемого полосчатого габбрового комплекса). В средней части хребта с тех же глубин подняты литифицированные осадочные породы (песчаники, аргиллиты, гравелиты), которые перекрываются базальтами, туфогенно-осадочными, кремнистыми и глинистыми образованиями. Неоднородность строения хребта Ширшова проявляется и в его морфологии: он состоит из ряда гряд, а в Командорскую котловину обрывается крутым уступом высотой до 800 м.

Специальный эксперимент был поставлен в Северо-Западной котловине Тихого океана. Выяснено, что эта часть Тихоокеанской плиты испытывает существенные деформации. За 6,5 суток донные сейсмографы зарегистрировали около 40 землетрясений. В морфологии дна деформации проявляются в виде зон дробления земной коры.

Интересные материалы получены экспедицией также в пределах возвышенности Шатского, в Императорском разломе, в Северо-Восточной котловине.

Океанология, 1983, т. XXIII, вып. 2, с. 365—368.

Геология

85-й рейс «Гломара Челленджера»

Начавшись 10 марта 1982 г. в Лос-Анджелесе, этот рейс проходил в восточной экваториальной части Тихого океана и завершился 2 мая в Гонолулу (Гавайские о-ва, США)¹. Руководи-

ли работами американские ученые Л. Майер (L. Mayer; Университет штата Род-Айленд) и Ф. Тейер (F. Theuer; Гавайский геофизический институт).

Ранее в этом районе уже проводилось бурение (рейсы 5, 8, 9, 16), однако новая техника получения керна с помощью гидравлического пробоотборника² позволяла теперь много детальнее изучить историю эволюции океанологических условий там, где отложилась исключительно мощная, необычная для открытого океана толща осадков — более 600 м.

Пять новых скважин образовали два меридиональных разреза в восточной и западной частях района работ. Скважины 572—574 вскрыли всю толщу осадков, вплоть до базальтов; бурение 571-й было остановле-

но по техническим причинам на глубине всего 7 м ниже уровня дна, а 575-й — на глубине около 200 м.

При общем сходстве разрезов установлены и некоторые различия в строении осадочной толщи. Так, в скважине 572 толща осадков состоит из довольно однородных слоистых карбонатно-силикатных илов и — в нижней части — силикатно-нанопланктонного мела. Осадки, залегающие на базальтах, гидротермально изменены и

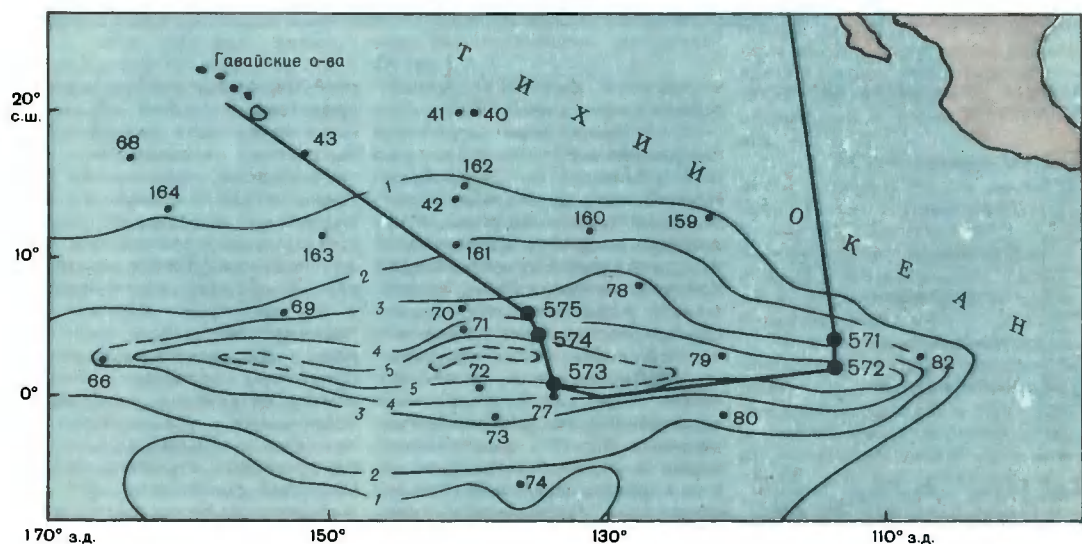
Маршрут и район работ «Гломара Челленджера» в 85-м рейсе. Изогипсы мощности осадочного слоя даны в сотнях метров (сейсмические данные).

☉ Скважины 85-го рейса

● Скважины предыдущих рейсов

¹ JOIDES Journal, 1982, v. VIII, № 3, p. 4.

² Подробнее см.: Природа, 1981, № 5, с. 116.



Характеристика скважин 85-го рейса

№ скважины	Координаты		Глубина океана, м	Глубина скважины, м	Мощность осадков, м
	с.ш.	з.д.			
572	1°26,09	113°50,52	3893	485,5	479,5
573	0°29,91	133°18,57	4301	529	528
574	4°12,52	133°18,57	4555	541	520
575*	5°51,00	135°02,16	4536	196,3	196,3

* Фундамента не достигла.

обогащены рудным веществом, что вообще характерно для процесса накопления осадков в гребневой части срединно-океанических хребтов. Возраст осадков в забое скважины — середина миоцена (14—15 млн лет).

В осадочной толще скважины 573 наиболее древними являются металлоносные известняки позднего эоцена (35—40 млн лет). Вверх по разрезу они сменяются мелом и карбонатными илами (520—45,1 м), а с глубины 45,1 м и до поверхности дна залегают карбонатно-силикатные илы.

Скважина 574 пробурена в центре осадочной линзы. Ее разрез похож на предыдущий и отличается лишь большим количеством раковин фораминифер в средней части. Последняя скважина этого меридионального разреза прошла по осадкам, идентичным осадкам в скважине 573.

Скорость накопления осадков в экваториальной части Тихого океана была, как правило, значительной — более 10 м/млн лет. В отдельные интервалы, в основном в середине миоцена, она возрастала до 50 м/млн лет (восточная часть района работ). В скважинах отмечены синхронные перерывы или же соответствующие им периоды резкого ослабления скорости седиментации на рубеже эоцена и олигоцена, олигоцена и миоцена, в раннем и позднем миоцене.

По мнению участников рейса, мощное осадочное тело в экваториальной части Тихого океана сформировалось под влиянием ряда факторов. Первый из них (авторы считают его неизменным в пространстве) — это высокая биологическая продуктивность зоны экваториального течения, благодаря которой на дно океана выпадает большое количество осадков органического происхождения (раковин фораминифер, диатомей и др.). Вторым, динамическим фактором является постепенное погружение дна в ходе его растяжения — от глубин около 3 км на гребне срединно-океанического хребта до глубины 4—4,5 км, отмеченной в настоящее время. При этом ложе океана, постепенно сдвига-

ясь, пересекает высокопродуктивную зону экваториального течения. О погружении свидетельствуют небольшие изменения в составе осадков, а также разная степень разложения карбонатного вещества.

Учитывая влияние этих факторов, участники рейса пришли к выводу, что район, где была пробурена скважина 575, прошел через экватор около 20 млн лет назад, 574 — около 13 млн лет назад, 573 и 572 — около 5 млн лет назад.

Сопоставление данных бурения с сейсмическими показало, что интенсивный отражающий сейсмический горизонт, характерный для значительной площади дна Тихого океана, приурочен к границе среднего и позднего миоцена. Изменение физических свойств осадков вызвано изменениями в количестве карбонатного материала. Полученный результат может быть использован для картирования этой геологической границы в Тихом океане.

А. Е. Сузюмов,
кандидат геолого-минералогических наук
Москва

Геофизика

Новый метод в морской картографии

Б. Хаксби (В. Нахбу; Геологическая обсерватория им. Ламонта и Дозэри, США) разработал новый метод картирования рельефа и структуры дна океана. В основу метода положено прецизионное измерение высот водной поверхности с американского искусственного спутника Земли «СИСАТ», запущенного в 1978 г.¹ На его борту был установлен альтиметр — радар, измерявший высоту орбиты над поверхностью воды с точностью 5—10 см. Спутник проработал всего около трех месяцев, но потребовалось более трех лет, чтобы обработать полученные с его помощью данные.

Автор разработал сложную систему геодезической увязки и фильтрации данных, позволяющую избавиться от влияния на результаты измерений ряда поверхностных факторов, таких как волнение, течения, ледовый покров. Установлено, что наибольшее влияние на уровень океана оказывают не поверхностные факторы, а рельеф дна и структура земной коры. Вначале, при запуске спутника, предполагалось, что с его помощью можно будет уточнить местоположение подводных гор, над которыми поверхность океана приподнята на несколько метров, и глубоководных желобов, над которыми наблюдается «провал» уровня. В действительности оказалось, что на альтиметрической карте прекрасно отражаются даже значительно более мелкие структуры.

Альтиметрическая карта была преобразована автором метода в карту поля силы тяжести. Таким способом получена чрезвычайно детальная гравиметрическая карта Мирового океана. Эта карта во многом повторяет рельеф дна, но несет также значительную информацию о структуре коры, «захороненной» под осадочным чехлом. Например, на ней видны трансформные разломы, протягивающиеся от побережья Африки до Южной Америки, и аналогичные структуры в других океанах, ранее лишь предполагавшиеся по магнитным аномалиям. Проявляются на карте и более глубинные эффекты. Так, еще в начале 60-х годов в центральной части Индийского океана была обнаружена загадочная зона сейсмичности с напряжениями сжатия в меридиональном направлении. В конце 70-х годов и американскими, и советскими геологами выявлены совпадающие с ней деформации в осадочном чехле. Карта Хаксби подтвердила, что там действительно проходит крупная зона широтных деформаций: кора Индийского океана испытывает сильное сжатие в меридиональном направлении.

На карте Хаксби срединно-океанические хребты отражаются неодинаково: быстро расширяющиеся на ней не видны, а медленно расширяющиеся выражены хорошо. Это дало

¹ Подробнее — о спутнике «СИСАТ» см.: — Природа, 1979, № 2, с. 104.

возможность, в частности, расшифровать сложную структуру моря Скотия (Южная Атлантика) — медленно раскрывающегося бассейна. Установлено, что существующие батиметрические карты Южного океана нуждаются в уточнении: некоторые подводные морфоструктуры нанесены на них с ошибкой до 300 км.

Этим не исчерпывается богатейшая информация о глубинах океана, которая может быть получена благодаря карте Хаксби. Автор продолжает совершенствовать методику анализа спутниковых данных.

Разработанный метод получил название метода геотектонической скульптуры (*Geotectonic Imagery — GTI*).

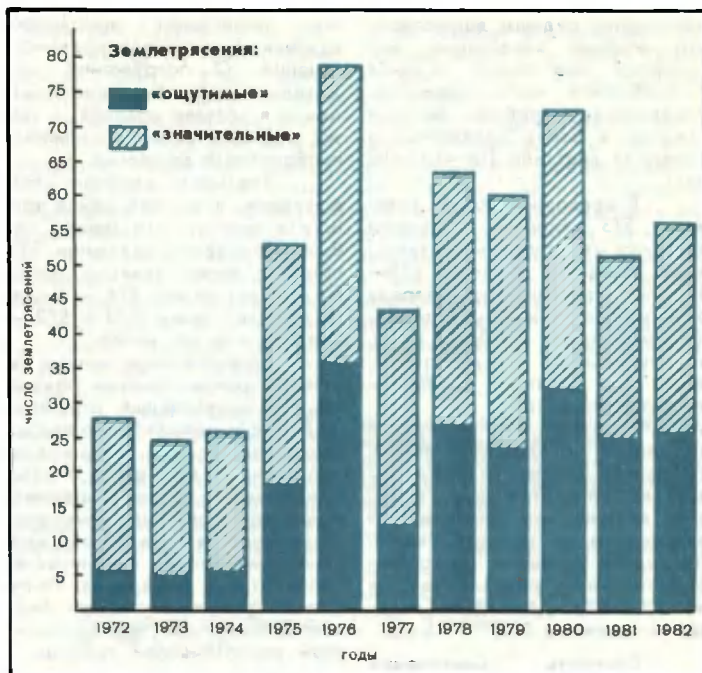
LAMONT (Newsletter of Lamont-Doherty Geological Observatory of Columbia University), 1982, № 4, p. 1—7 (США).

Сейсмология

Число землетрясений возросло

По оценке У. Персона (W. Person; Национальное бюро информации о землетрясениях Управления геологической съемки США), в 1982 г. землетрясений произошло больше, чем в 1981 г., при этом во внимание принимались лишь «значительные» (с магнитудой 6,5 и более по шкале Рихтера) и «ощутимые» (с магнитудой 4,0—6,4). Данные получены на основе анализа записей, сделанных сетью из 3 тыс. сейсмических станций, расположенных по всему земному шару. В целом же 1981 и 1982 гг. были более спокойными по сравнению с 1978—1980 гг.

Наиболее сильный подземный толчок в 1982 г. зарегистрирован на о-вах Тонга в юго-западной части Тихого океана. Однако это землетрясение (магнитуда 7,7) произошло на значительной глубине и разрушений не вызвало. По данным за последнее столетие, подземных толчков с магнитудой 7,0—7,9 в среднем на земном шаре ежегодно происходит 19.



Число «ощутимых» (магнитуда 4,0—6,4) и «значительных» (магнитуда 6,5 и более) землетрясений за 1972—1982 гг.

Биогеохимия

Баланс химических соединений в Балтике

М. П. Максимовой (Всеобщий НИИ морского рыбного хозяйства и океанографии) впервые рассчитаны и опубликованы данные о количестве биогенных элементов и органического вещества, содержащихся в речном стоке с территории СССР в Балтийское море. Водный сток с побережья СССР составляет около 40% (180 км³) всего речного стока в Балтику. В общей сложности Нева, Неман, Даугава и другие реки выносят за год около 236 тыс. т азота, 19,2 тыс. т фосфора, 116 тыс. т растворенного кремния, 1750 тыс. т углерода (в виде органических соединений); на долю минеральных форм приходится примерно 50% азота и 35% фосфора. Включение этих данных в баланс химических соединений устраняет, таким образом, основной существующий недостаток прежних расчетных балансов — их неполноту. Кроме того, автором оценено количество биогенных эле-

Несмотря на возросшую сейсмическую активность, количество человеческих жертв в 1982 г. было примерно на 1/3 меньше, чем в предыдущий год. Самым разрушительным было землетрясение с магнитудой 6,0 в Северном Йемене: оно унесло 2800 человеческих жизней; 1,5 тыс. человек было ранено; разрушено 300 населенных пунктов, без крова осталось 700 тыс. человек. Всего, по данным бюро, в 1982 г. от землетрясений погибло 3338 человек.

В США сейсмическая активность была сравнительно невысокой: в 1982 г. зарегистрировано всего два землетрясения с магнитудой 5,5 и ни одного — выше этой величины. По уровню сейсмичности лидируют Гавайские о-ва, затем — Калифорния. С 1975 г. в США в результате землетрясений жертв не было.

EOS, Transactions of the American Geophysical Union, 1983, v. 64, № 14, p. 129—134 (США).

Таблица
Баланс химических соединений Балтийского моря, тыс. т

Составляющая баланса	Азот			Фосфор			Сорг
	N _{вал}	N _{мин}	N _{орг}	P _{вал}	P _{мин}	P _{орг}	
	Приход						
Речной сток	508	242	266	45,4	15,6	29,8	4 500
Из Северного моря	133	9	124	10			1 600
Подземный сток	21	19,6	1,5	0,8	0,74	0,05	18—25
Атмосферные осадки	88	88		0,4			220
Сточные воды	66	33	33	14			1 300
Первичная продукция фитопланктона							40 000
Всего	816	392	424	70,6			47 642
	Расход						
Вывос в Северное море	230	27	203	11			3 500
Вывос в атмосферу	3	3					
Изъятие промыслом	27		27	4,5			135
Остается в море	556	362	194	55,1			44 007
Всего	816	392	424	70,6			47 642

ментов, поступающих в море за счет подземного стока. В балансе учтено также количество азота и фосфора, изымаемых с промысловыми продуктами моря, что существенно при годовом вылове в 900 тыс. т. Расчет количества биогенных элементов и органического вещества, поступающих со стоком с территории других прибалтийских стран, сделан автором на основе новейших материалов и впервые приведен к среднесезонному водному стоку.

Баланс (см. таблицу) раскрывает картину общих количественных соотношений приходной и расходной части (сбалансированность системы), показывает направленность миграционных процессов и генезис химических соединений в водоеме, позволяет количественно оценить масштабы антропогенного воздействия.

Основная часть годичного прихода биогенных элементов и углерода, который в основном продуцируется фитопланктоном, остается в Балтийском море (около 70% азота, 80% фосфора, 90% углерода). Это типично для полузакмнутых бассейнов, где затруднен водообмен с океаном. В грунты Балтийского моря ежегодно откладывается в среднем 3,9 млн т органического углерода и около 40,1 млн т подвергается минерализации. В ходе промысла изымаются весьма существенные количества от годового при-

хода биогенных элементов — примерно 3% азота и 6% фосфора; изъятие органического углерода составляет около 0,3% годового прихода, что свидетельствует об очень напряженном промысле. По ориентировочной оценке антропогенная составляющая (включая поступление с речным стоком и прямой сброс сточных вод в море) достигает в годичном балансе моря 50—60% фосфора и 30% азота.

Океанология, 1982, т. XXII, вып. 5, с. 751—756.

Климатология

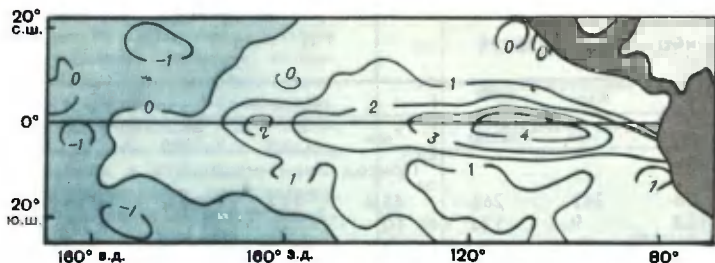
Климатическая аномалия в Тихом океане

Летом 1982 г. над западной частью Тихого океана начала развиваться климатическая аномалия глобального масштаба. На значительной площади температура воды и воздуха поднялась на 2—4° выше нормы, что привело к изменениям и других атмосферных и океанологических характеристик. В сентябре — октябре аномалия усилилась и распространилась в конце концов почти на всю экваториальную часть океана, сместившись в Западное полушарие. Сотрудники американ-

ского Центра климатического анализа Национального управления по изучению океана и атмосферы, исследовавшие это явление, отмечают, что по масштабам и амплитуде аномалия заметно превосходит аналогичные события предыдущих лет (всего за период после второй мировой войны зарегистрировано 8 аномалий, в том числе за последнее десятилетие — в 1972 и 1976 гг.).

Наблюдения с метеорологических спутников Земли показали, что к осени 1982 г. зона повышенных температур охватила большую часть Австралии, Индонезию и Новую Гвинеею. Это привело к уменьшению над ними облачного покрова и, как следствие, к небывалой засухе. Потери тепла Землей (уходящая радиация) в сентябре-октябре в экваториальной зоне Тихого океана были ниже нормы, что вызвало дополнительный нагрев воздуха и воды, ее повышенное испарение и выпадение над океаном большого количества осадков. Климатическая аномалия ощущалась даже в верхней части тропосферы — на уровне 10 км.

Характерная для экваториальной зоны атмосферная циркуляция оказалась нарушенной. Изменение условий над океаном вызвало сильные ветры, дующие в западном направлении. В районе Филиппинских о-вов задолго до сезона тайфунов возникли сильные завих-



Аномалия температуры поверхности воды в экваториальной части Тихого океана в октябре 1982 г. [в °С; по отношению к многолетним средним значениям]; светлым тоном показана область положительной аномалии.

Климатология

Последствия Эль-Ниньо

В 60-х годах в экваториальной части Тихого океана было обнаружено течение Эль-Ниньо (исп.— младенец), получившее это название в связи с тем, что открытие произошло в праздник Рождества. Этот мощный теплый поток возникает раз в 7—14 лет, когда обычно господствующие юго-восточные пассаты отсутствуют или теряют значительную часть силы. В этом случае ничто не препятствует перетекать в восточном направлении гигантским массам воды из западной части Тихого океана, где, как недавно установлено, уровень океана на несколько сантиметров выше, чем в восточной его части.

Эль-Ниньо движется от берегов Новой Гвинеи мимо Гавайских о-вов к западному побережью Южной Америки. Здесь, столкнувшись с идущим с юга на север холодным течением Гумбольдта, Эль-Ниньо отклоняет его от суши в открытое море, заставляя временами уходить на глубину 50 м от поверхности. Это серьезно нарушает метеорологическую обстановку, а вместе с тем — условия обитания рыб, птиц, всего животного мира в экваториальной области Тихого океана.

Зимой 1982 г. отмечено очередное появление Эль-Ниньо, причем оно было наиболее интенсивным по сравнению с предыдущими наблюдавшимися случаями. Под его воздействием температура вод, омывающих о-ва Галапагос, достигла 30°C (на 5° выше нормы). Населяющее эту область стадо морских львов ушло в более холодный район океана; на островах прекратилось гнездование

некоторых видов птиц. На западные побережья Гавайев и Калифорнии обрушились волны необычайной высоты, при этом температура воды у Калифорнии достигала рекордного за 25 лет уровня. В конце января на о-ве Тауэр (о-ва Галапагос) выпало больше осадков, чем в сумме за предыдущие 6 лет. Обычно засушливые здесь земли внезапно покрылись буйной растительностью; необычайно размножились бабочки, москиты, слепни: чрезвычайное оживление наблюдалось среди сухопутных птиц, пресмыкающихся. В Эквадоре под водой оказались большие площади: население затопленных районов было отрезано от остального мира. В Перу ливневые дожди выпали там, где осадки — большая редкость, в результате обрушилась кровля многих домов. Погибли миллионы морских птиц, населяющих так называемые «гуаноные острова», особенно пострадала популяция большого баклана. У берегов Перу резко упал вылов анчоуса — важнейшего источника существования многих тысяч дешеских рыбаков. Ожидается, что в 1983 г. общий улов морских продуктов в тихоокеанских водах вблизи Южной Америки уменьшится по крайней мере на 50%.

Влияние Эль-Ниньо не ограничилось районом тихоокеанских островов и западных берегов Южной Америки. По мере прекращения пассатов повышалась атмосферное давление над Австралией и Индонезией; здесь установилась засушливая погода, возникли лесные пожары; Индонезию постиг серьезный неврожай и голод.

По мнению Ю. Расмуссона (E. Rasmusson; Центр климатологического анализа в Силвер-Спринге, штат Мэриленд, США), необычное потепление вод в восточной экваториальной части Тихого океана сказалось даже на столь удаленной акватории, как залив Аляска: оно повело к углублению зоны низкого давления в атмосфере этого региона, что, в свою очередь, вызвало бурные штормы у берегов Калифорнии.

Анализируя обстоятельства этого последнего по времени возникновения Эль-Ниньо, многие специалисты высказыва-

рения в атмосфере, приведшие к разрушениям на земле. Необычайной силы циклоны прошли над экваториальной и южной частями Тихого океана. В противоположность этому, на юго-востоке океана не было зарегистрировано ни одного сильного шторма. Только в конце декабря в центре океана вновь установились ветры северо-восточного направления, характерные для зимнего сезона.

Климатическая аномалия сопровождалась рядом других явлений. Например, в западной части Тихого океана в июне — ноябре уровень воды упал на 18 см; в его центральной части, напротив, наблюдался подъем на 20—40 см выше нормы.

К каким последствиям могут привести эти временные изменения атмосферных и океанологических характеристик? Высказывалось предположение, что значительное повышение температуры поверхности воды в восточной части Тихого океана, в особенности у берегов Эквадора и Перу, может вызвать явление, известное под названием «Эль-Ниньо»: подъем богатых питательными веществами глубинных вод у берегов Южной Америки оказывается подавленным внешними факторами, что приводит к катастрофической гибели морских организмов.

ют предположение, что первопричиной его может служить извержение вулкана Эль-Чичон в апреле 1982 г. в Мексике¹. Огромная масса изверженной вулканической пыли образовала облако в верхней атмосфере, опоясавшее Землю. Это вызвало потепление верхней атмосферы в тропических широтах и привело к выравниванию температуры между приповерхностными и высокими слоями воздуха. А именно эта разница температур в совокупности с вращением Земли обычно и создает пассатные потоки в атмосфере.

New Scientist, 1983, v. 97, № 1348, p. 632 (Великобритания); Освал Science News, 1983, v. 25, № 20, p. 6 (США).

Метеорология

Снежный покров в Северном полушарии

В. Д. Будовый, Н. П. Нецаев, Б. М. Капитанов и Л. Т. Матвеев (Ленинградский гидрологический институт Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды) изучали закономерности распределения снежного покрова в Северном полушарии по данным метеорологических искусственных спутников Земли, полученным в период с 1971 по 1975 гг. Прежде основным источником для таких исследований служили материалы непосредственных наблюдений на гидрометеорологической сети станций и постов, которые размещены крайне неравномерно и поэтому недостаточно полно отражают характер распределения снежного покрова в различных географических зонах.

Авторы построили 24 карты границы распространения снежного покрова (по 2 карты на месяц) с точностью их положения ±150 км. Исходной информацией для этого служили

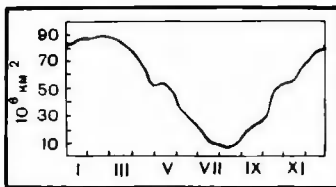


График изменения площади снежного покрова в Северном полушарии по месяцам (в млн км²).

средние за каждую неделю показатели положения границы, полученные со спутников. Под границей снежного покрова понималась переходная зона, разделяющая поля снежного покрова с высотой более и менее 2,5 см. На морях и океанах определение границ достаточно простое, поскольку их положение совпадает с южной границей распространения лаковых льдов; в горных районах, изолированных от областей сплошного снежного покрова, установление границ проводилось лишь при условии, если снег в данном районе отмечался в 50 и более процентах анализируемых случаев.

На основании полученных карт авторами построен график годового изменения площади снежного покрова в Северном полушарии. Наибольшая площадь, покрытая снегом высотой свыше 2,5 см, приходится в Северном полушарии на середину февраля (90,2 млн км²). С конца марта площадь под снегом резко сокращается и достигает минимума в конце августа (19,2 млн км²).

Полученные данные важны для изучения причинных зависимостей, определяющих погодные условия и гидрологический режим в различных физико-географических районах; они могут быть использованы для оценки содержания влаги в почвах, прогноза снежных лавин, паводков рек, построения моделей атмосферы и решения других научных и практических задач.

Метеорология и гидрология, 1983, № 4, с. 105—107.

Палеогеография

Надежность палеоклиматических реконструкций

Одним из распространенных методов определения палеоклиматических изменений служит анализ колонок льда, получаемых при бурении ледников. Группа специалистов из Канады и Дании во главе с Д. Фишером и Р. Кернером (D. Fisher, R. Koerner), изучавшая колонки льда с ледникового купола о-ва Элсмира (Канадский Арктический архипелаг), призывает более осторожно подходить к результатам такого анализа.

Купол площадью около 16 тыс. км² занимает всю центральную часть острова. Бурение скважин производилось в 1977 и 1979 гг. в точках, находящихся по разные стороны от плоской вершины купола на высотах 1670 и 1700 м над ур. м. и отстоящих друг от друга всего на расстоянии 1,2 км. Скважина 1977 г. достигла глубины 338 м; температура на поверхности составляла здесь —24,2°С, а на глубине —16,7°. Скважина 1979 г. прошла на глубину 139 м; температура на поверхности составляла —22,4°, на глубине —19,0°.

При сравнении соотношений изотопов кислорода ¹⁸O и ¹⁶O в двух кернах оказалось, что в колонке, извлеченной в более высокой части склона, усредненное по годам относительное содержание ¹⁸O на 2,5% больше, чем в колонке из более низкой части склона. Учет изменения с температурой концентрации изотопов кислорода в образцах указывает, что температура на вершине купола в период отложения снежного покрова была выше, чем у его подножия, что невозможно.

Исследователи считают, что подобное различие в концентрации изотопа ¹⁸O связано с явлением дефляции (выдувания) рыхлого снежного покрова. В соответствии с розой ветров зона дефляции простирается на 5 км от вершины купола в северо-западном направлении. В этой зоне скорость рос-

¹ Подробнее см.: Облако, опоясывающее Землю.— Природа, 1983, № 8, с. 114.

та снежного покрова составляет 0,115 м/г. На противоположной стороне склона, примерно с расстояния 200 м от вершины располагается зона, где дефляция практически отсутствует, а скорость накопления снежного покрова повышается до 0,175 м/г. Из-за дефляции более 30% выпавшего снега сдувается вниз, а не смерзается, превращаясь в лед и фирн на месте своего выпадения. В итоге палеоклиматическая информация искажается.

Таким образом, в образцах льда, взятых в разных точках купола, изученные слои относились к различным временным эпохам. По предположению исследователей, в зоне, подверженной дефляции, возраст льда — свыше 8 тыс. лет, а там, где она отсутствует, — не более 3 тыс. лет. Обнаруженное различие в концентрации изотопов кислорода прослеживается на глубину слоев, отложившихся как раз за последние 3 тыс. лет.

Авторы приходят к заключению, что результаты анализа многих колонок льда, взятых в Гренландии и Антарктиде, где рельеф ледников неоднороден, а их течение имеет сложную динамику, могут потребовать пересмотра, с тем чтобы избежать неверных выводов относительно климатических изменений, существовавших в отдельные эпохи.

Nature, 1983, v. 301, № 5897, p. 205—209 (Великобритания).

**С января 1984 г. в издательстве «Наука»
будет выходить**

**новый ежемесячный иллюстрированный
научно-популярный журнал**

«ЭНЕРГИЯ: ЭКОНОМИКА, ТЕХНИКА, ЭКОЛОГИЯ»

Цель журнала — способствовать решению задач улучшения использования топливно-энергетических ресурсов — ключевой народнохозяйственной проблемы современности. Поскольку данная проблема связана с решением широкого круга естественнонаучных, экономических, социальных, технических и экологических вопросов, журнал предполагает публикацию разнообразных материалов, всесторонне охватывающих проблемы производства, преобразования и использования энергии в обществе. К сотрудничеству в журнале будут привлечены специалисты различного профиля (энергетики, экономисты, физики, химики, социологи, биологи, инженеры, философы, журналисты, популяризаторы науки, историки, изобретатели). На страницах журнала предполагается публиковать материалы, посвященные новым проблемным вопросам, связанным с энергией и ее использованием, а также литературные и исторические материалы, полезные и практические советы, письма читателей.

Журнал рассчитан не только на специалистов, занятых добычей, переработкой и использованием топливно-энергетических ресурсов, но и на широкий круг читателей, преподавателей, студентов, всех интересующихся энергетикой и ее проблемами.

Индекс журнала 71095 (см. Приложение № 1 к «Каталогу советских газет и журналов» на 1984 г.)

Подписная цена на год 5 р. 40 к.

Подписка на журнал принимается отделениями «Союзпечати», почтовыми отделениями, общественными распространителями.

Этнографический взгляд на жизнь великой страны

Л. В. Голованов,
кандидат философских наук
Москва



А. Е. Снесарев. ЭТНОГРАФИЧЕСКАЯ ИНДИЯ. Сост. Е. А. Снесарева, отв. ред. Л. Б. Алаев. М.: Наука, Главн. ред. вост. литературы, 1981, 278 с.

Имя Андрея Евгеньевича Снесарева (1865—1937) — крупного военного деятеля и выдающегося востоковеда — хорошо известно не только в кругах специалистов, и выход в свет его «Этнографической Индии» не прошел незамеченным в широкой читательской среде — монография тотчас же стала библиографической редкостью. Разумеется, сама тема книги не могла не привлечь к себе внимания. В наше время, когда происходит необычайное ускорение темпов общественного прогресса, когда все теснее и разностороннее становятся связи между народами, всеоб-

щий интерес к национальным культурам чрезвычайно растет. Едва же речь заходит об Индии, чье положение как в истории человечества, так и на современной политической карте мира исключительно, этот интерес оказывается закономерно умноженным. А тут еще необычность судьбы автора, жизнь которого была полна ярких и нелегких событий.

Военный специалист, встретивший Великий Октябрь, в чине генерала, он в силу своих убеждений перешел на сторону Советской власти, был одним из организаторов обороны Царицына, в 1919—1921 гг. — начальником Академии Генерального штаба РККА, а затем — профессором Военной академии РККА и одновременно профессором Военно-Воздушной и Военно-политической академий. Его след в нашей военной науке неизгладим. «...Верный сын нашей Родины, талантливый военный специалист, многосторонний педагог и теоретик», — так вспоминал о нем маршал Советского Союза О. М. Буденный¹.

Достаточно было бы только этих заслуг, чтобы память о А. Е. Снесареве осталась нетленной. Однако немало можно сказать и о другой ипостаси сей удивительной личности — той, что представлена названной книгой. А. Е. Снесарев был одним из основателей и первым директором Московского института востоковедения, учителем первого поколения советских востоковедов. Фактически ему и его непосредственным коллегам принадлежит честь закладки фундамента советской школы востоковедения, вобравшей в себя лучшие отечественные традиции и стремительно развившейся затем на основе высших методологических принципов обществоведения.

Его творческий путь проходил в русле передовой науч-

ной и общественной мысли. Как искренний, честный искатель истины в области географии, истории, лингвистики, этнографии и политических отношений, он не мог не придти к признанию коммунизма, подтверждая своей судьбой справедливость ленинского вывода об объективной обусловленности такого прихода — «посвоему», «не так, как пришел подпольщик-пропагандист, литератор, а через данные своей науки»².

В 20-х годах он решил, мобилизуя свои обширные знания, результаты собственных исследований, теоретический и педагогический опыт, создать многотомный обобщающий труд «Индия. Страна и народ». Выпуск первый — «Физическая Индия» — увидел свет в 1926 г. К 1929 г. был подготовлен второй — «Этнографическая Индия», за ним должны были последовать «Экономическая Индия» и «Военно-политическая Индия». К сожалению, грандиозному замыслу не суждено было осуществиться. «Если бы А. Е. Снесарев смог и успел создать задуманную энциклопедию индологии, эта наука оказалась бы в то время на качественно ином этапе, что повлияло бы и на ее дальнейшее развитие», — пишет в предисловии к рецензируемому изданию Л. Б. Алаев (с. 3).

Монография подготовлена к печати дочерью ученого Е. А. Снесаревой, доцентом Московского государственного университета — «самоотверженной помощницей... и поистине добрым гением семьи», по словам А. А. Губера, ученика А. Е. Снесарева³. Это лишь часть этнографического труда автора. Что тут важно подчеркнуть: в ней подняты вопросы, которыми тогда никто из индологов не занимался и которые по сию по-

¹ Андрей Евгеньевич Снесарев. М., 1973, с. 10.

² Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 42, с. 346.

³ См. сб.: Андрей Евгеньевич Снесарев, с. 20.

ру относятся к числу наименее разработанных — эволюция религиозных представлений индийцев, религиозная догматика и культовая практика, роль основных индийских религий в политической жизни, происхождение и сущность касты, перспективы ее отмирания, образ жизни рядового индийца в его материальном, обрядовом и духовном аспектах.

Такой целостный подход был для того времени, когда создавался этот труд, новаторским, в чем сам А. Е. Снесарев отдавал себе отчет, считая, что «разносторонний и интимный пригляд к народной жизни должен иметь несомненную ценность при изучении стран и народов» (с. 4). Эта комплексность охвата специфического объекта исследования, с глубоким проникновением в сущность анализируемых явлений и с возможно большим учетом взаимодействующих факторов, взятых в их непосредственной живой деятельности, — характерная черта данного труда, равно как и в целом творческого наследия ученого. Она принципиально выделяет его из среды традиционной этнографии его времени, для которой типично было описание преимущественно архаических культурных явлений.

А. Е. Снесарев стремится обнаружить в собранных им сведениях отражение объективных устойчивых связей, закономерные процессы. Таков, например, раздел, посвященный кастам Индии, по отношению к которым европейская мысль «вела себя всегда и торопливо и небрежно... подходила к ним с готовыми рецептами, без труда и скоро находила нужные ей аналогии, а за ними и вывод» (с. 99).

Ученый исследует касты как социальный институт, их происхождение, взаимные отношения, роль в общественной жизни, разбирает точки зрения на них других авторов. «Каста с ее предрассудками, — пишет он, — великое зло, влекущее для народа много горького, но это зло старое, сложно организованное, пропитавшее всю жизнь страны во всех ее подробностях» (с. 103). В книге дается добротная характеристика каст

Индии начала столетия и указывается, что с этим явлением «связаны более широкие интересы, выходящие далеко за пределы чисто индусские» (с. 136). «Над миром Индии, — пишет А. Е. Снесарев, — проходит историческая череда победителей и хищников, живших трудом ее народных масс и расшатававших ее народное достояние, но никогда не входивших глубоко и искренне в ее судьбы и интересы» (там же), зато обрекавших жизнь ее на рутинное прозябание в тенетах дряхлых отношений и кастовых предрассудков. Это старое зло страны, по мнению А. Е. Снесарева, будет господствовать над бытом Индии, «пока новая жизнь не забудет ключом в самых глубинах народной жизни и не взбудоражит ее от верха до низу» (с. 165).

Треть книга посвящена религиозным течениям, господствовавшим во всех сферах культуры и быта Индии, как и в большинстве стран Востока, — «понять Индию, особенно массовую, народную, без должного углубления в религию нельзя» (с. 10). И автор берется за это непростое дело — не только внешнее описание, но и вдумчивый анализ, опирающийся на принцип историзма. На страницах развертывается пестрая панорама верований, роль которых в бытовом укладе и в экономике и политике сохранилась и до сих пор. Материал книги помогает уяснить наиболее бросающиеся в глаза особенности культуры Индии и углубляет представления о становлении и развитии сознания, духовной жизни общества в своеобразных условиях.

С большим интересом читается раздел «Бытовые пейзажи». Здесь представлено наиболее типичное и наглядное в реальной жизненной обстановке. «Обычай, обряд, приметы, суеверия и т. д. являются теми сторонами жизни, которые сохраняют для народа значительную долю своего императива и оказывают — особенно в Индии — свое крупное влияние на жизнь и трудовые процессы народной массы, — это одна сторона дела; другая — та, что эти обычаи являются пержитками далеких времен, когда они были

реальными, почему рассмотрение их получает большое значение в культурно-историческом смысле» (с. 166).

Автор обращается к устройству деревенской жизни, присматривается к семейным отношениям, к положению женщины в индийском обществе, к обрядам при рождении, браке и похоронах. Чтобы глубже понять нравы и обычаи народа, проникнуть в его способы мышления, исследователь касается пословиц и поговорок, обращает внимание на их «классовый колорит». Взгляд его останавливается и на народной одежде как внешнем отражении приспособления к климатическим влияниям, привычек, экономики и вкуса. Наконец, предметом его разбора служат суеверия и приметы. Ученый далек от исчерпания темы, в чем сам себе отдает отчет, но главной своей цели «пояснить реальную Индию» (с. 10) достигает, демонстрируя специфику и крайнюю сложность бытовой стороны народной жизни. Вывод, к которому он приходит: «Быт народа Индии — его горе, и, вероятно, надолго еще неизлечимое его горе» (с. 283).

Характерно, что обо всем А. Е. Снесарев пишет с присутствием ему тактом, не увлекаясь, подобно некоторым другим описателям «страны чудес», экзотическими сторонами народных обычаев и верований.

Этого же принципа он придерживался и в своей преподавательской деятельности. «Он умел как-то мимоходом, критическим комментарием или скептической репликой разрезать остатки наших экзотически-мистических представлений о религии в жизни Индии, направить нашу мысль в сторону изучения сущности явлений, — вспоминал А. А. Губер. — Изложение различных теорий происхождения каст, анализ все еще сохранявшейся в Индии огромное значение кастовой системы он обязательно сочетал с яркой картиной судьбы, на которую она обрекает «неприкасаемых»⁴. Сочетание «практичности» и историчности — важная

⁴ Андрей Евгеньевич Снесарев, с. 16.

особенность «Этнографической Индии». Это значит, что автор ставил свою науку в один ряд с теми общественными и страноведческими дисциплинами, которые устремлены на решение практических социальных задач.

Немало из того, о чем рассказано в книге, ныне отнесено на второй план и далее. То, что входило в понятие «Британская Индия», кануло в прошлое. Появились три независимых государства: Индия, Пакистан и Бангладеш. Мы радуемся сегодня успехам независимой Индии, ее достижениям в развитии экономики, в реформировании аграрных отношений, в положительных изменениях уклада жизни, ее культурному прогрессу. Иной стала и индология. Однако значение замечательного труда А. Е. Снесарева не становится меньше. Монография по праву заняла место в ряду первостепенных пособий, необходимых для осмысления не только прошлого, но и сегодняшних проблем страны.



О. И. Семенов-Тян-Шанский. ЗВЕРИ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ. Рец. Н. К. Верещагин, А. А. Насимович. Мурманск: Мурманское книжное изд-во, 1982, 176 с.

О зверях, заповеднике и работе зоолога

А. М. Гиляров,
кандидат биологических наук
Москва

Зоологам и охотоведам не надо представлять автора книги. Олег Измайлович Семенов-Тян-Шанский — опытный натуралист, блестящий знаток природы Севера — хорошо известен многими работами в области экологии наземных позвоночных. Основывается рецензируемая книга на богатом материале, собранном автором главным образом в Лапландском государственном заповеднике, сотрудником которого он является с самого момента его возникновения в 1930 г.

Книга эта невелика по объему и состоит из отдельных очерков, посвященных разным видам (или группам видов,

например землеройкам, полевкам), расположенным в систематическом порядке. Обращена она к широкому читателю, это действительно книга про «зверей», а не про «млекопитающих». Хороший язык, ясность изложения, отсутствие трудных научных терминов — все это позволяет отнести книгу к разряду научно-популярных. Вместе с тем каждый очерк насыщен (иногда даже кажется, что перенасыщен) различными документированными свидетельствами. Так, читатель узнает не только о том, как отличить волка от собаки, но и о том, что взрослый самец волка, добытый в апреле 1976 г. близ села Краснощелье, весил 43 кг и имел длину тела 122 см, а хвоста — 45 см. Указывается, например, что встреча с медведем лесника Г. Г. Шубина, чуть было не окончившаяся трагически для обоих ее участников, произошла 7 мая 1932 г., а новорожденный лосенок сфотографирован автором 4 июля 1939 г.

Казалось бы, зачем в популярной книжке такая скрупулезная точность? Однако внимательный читатель поймет (и к этому его мудро подводит автор), как даже из редких, но

четко зафиксированных в дневниках и в картотеке наблюдений может быть извлечена подлинно научная информация. Особенно, конечно, это относится к наблюдениям, которые ведутся много лет. Так, анализ 225 встреч с медведем в районе заповедника позволяет автору представить себе структуру популяции этих животных: «24 самки с 39 медвежатами (сеголетки и лончаки), 13 медвежат без матки и 188 одиночных зверей обоего пола старше двух лет» (с. 100). О том, как в популяции лосей распределяется смертность по возрастам, можно судить на основании анализа найденных в заповеднике остатков 172 погибших животных.

На читателя, конечно, производит впечатление продолжительность периода, охваченного наблюдениями. Так, оценивая интенсивность весенней миграции норвежских леммингов, автор пишет: «В ночь на 20 мая 1938 года Г. А. Новиков и В. К. Эвэрт, пройдя 17,5 километра вдоль берега озера, насчитали 31 лемминга, перебежавшего дорогу; 24 мая 1978 года на том же маршруте я учел только 7» (с. 68). В другом месте говорится о том, как на основании регулярных осмотров одного пляжа на берегу озера, куда волны выносят трупы леммингов, погибших при переправе, можно судить о масштабах их осенней миграции. На маршруте длиной 300 м, проходящем через этот пляж, сотрудники заповедника учли: в 1938 г. — 479 трупов, в 1946 — 25, в 1958 — 17, в 1978 — 85.

Очерки, посвященные полевкам и леммингам, — вообще одни из самых интересных в книге. Хорошо рассказано в них о периодических колебаниях численности этих грызунов и их возможных причинах. Заметим, кстати, что стандартные ежегодные учеты мелких мышевидных грызунов ведутся в Лапландском заповеднике по единой методике с 1936 г. по настоящее время (с перерывом только на годы войны). Полученные при этом кривые динамики численности прочно вошли в мировую литературу по экологии популяций, представляя собой результат действительно уникального исследования.

В последнее время в экологии все большее распространение приобретают экспериментальные методы и математическое моделирование. При этом невольно падает значение традиционных натуралистических методов, таких как наблюдения за животными в природе, анализ следов их деятельности, стандартные учеты численности. Иногда, что скрывает, проявляется даже явное к ним пренебрежение. Вместе с тем именно такой, традиционным образом собранной информации очень часто не хватает современным исследователям, в том числе и «модельерам».

Об обсуждаемых здесь методологических проблемах в рецензируемой книге прямо не говорится, но они невольно приходят на ум читателю-биологу. Значение регулярных учетов численности, а также фиксации всех наблюдений и их статистической обработки выявляется в ней исключительно наглядно. Думается, что в этом отношении книга будет особенно полезна начинающим исследователям (даже юным натуралистам), а также, уже независимо от возраста, всем, кто связан в нашей стране с организацией заповедного дела. Читая книгу, понимаешь, что трудно переоценить роль заповедников как своеобразных контрольных пунктов биосферы.

Чувствуется глубокое уважение автора к коренным местным жителям — саамам, охотникам и рыбакам. Часто приводятся ссылки на их наблюдения,

а также даются саамские названия почти всех упомянутых животных. В связи с быстрым освоением районов Крайнего Севера, в том числе и Мурманской области, становятся очень актуальными и проблемы охраны животного мира этих районов. Хотя автор и не ставит своей задачей специальное рассмотрение этих проблем, они невольно выступают в его книгу. Нельзя без чувства горечи читать о том, как вылавливается удочками молодь кумжи, являющаяся одним из основных кормовых объектов выдры, катастрофически сокращающей свою численность; или о том, что большинство лосей за пределами заповедника оканчивает свою жизнь под пулей охотника.

В конце книги приведен список всех млекопитающих Мурманской области с указанием их систематического положения, русского и латинского названий. Приводится также список научных трудов по млекопитающим, выполненных сотрудниками Лапландского заповедника.

Книга иллюстрирована большим числом фотографий, выполненных главным образом самим автором. К сожалению, качество их воспроизведения нельзя назвать безупречным.

Популярные книги о животных пользуются в последнее время громадным читательским спросом. Однако книг таких очень мало, и в подавляющем большинстве своем они переводные (об этом упоминает и О. И. Семенов-Тянь-Шанский).

К тому же пишутся эти книги часто талантливыми и преданными своему делу людьми, но не профессиональными учеными. Автор рецензируемой книги — в первую очередь ученый, а уже потом популяризатор. Может быть, поэтому в описаниях его встреч с животными чуть-чуть не хватает эмоциональности. Наверно, читателю захочется узнать и поподробнее о том, как именно наблюдали животных автор, как он проводил учеты их численности и т. д. Однако скорее всего этого и нельзя требовать от данной книги: автор ведь пишет в ней не о себе, а о зверях того края, где ему пришлось долго и плодотворно работать. И все-таки со страниц книги сама собой возникает личность автора — профессионала высокого класса, труженика науки, неутомимого летописца природы Лапландии.

Книга эта, безусловно, будет встречена с большим интересом многими читателями — как биологами, так и всеми, кто интересуется окружающей природой. И прочли бы ее не только в Мурманской области, но и во многих других районах нашей страны. Но издана книга мизерным тиражом (5000 экз.), и ее очень трудно было купить даже в Мурманской области, не говоря уже о Москве или Ленинграде. Хотелось бы надеяться на скорое ее переиздание. Хорошо было бы также, чтобы книга эта побудила других наших зоологов попробовать свои силы в научно-популярном жанре.

НОВЫЕ КНИГИ

Космические исследования

ОСВОЕНИЕ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА В СССР. 1981. Отв. ред. Р. З. Сагдеев. М.: Наука, 1983, 216 с., ц. 2 р. 40 к.

Вышел очередной ежегодник, включающий опубликованные в советской печати сообщения ТАСС, материалы пресс-конференций, статьи кос-

монавтов, ведущих ученых, специалистов и научных обозревателей, освещающие достижения Советского Союза в исследовании и использовании космического пространства. Здесь читатель, в частности, найдет публикации, связанные с 20-летием первого полета человека в космос, работой в космосе на орбитальной станции «Салют-6» космонавтов В. В. Коваленка и

В. П. Савиных и международными экспедициями, в состав которых входили космонавты-исследователи Ж. Гуррагыч (МНР) и Д. Прунариу (ССР).

Заключительные разделы содержат материалы об инициативах СССР в ООН, направленных против милитаризации космоса, а также хроникальные материалы.

Биология

С. С. Четвериков. ПРОБЛЕМЫ ОБЩЕЙ БИОЛОГИИ И ГЕНЕТИКИ (воспоминания, статьи, лекции). Отв. ред. З. С. Никоро. Предисл. М. Д. Голубовского. Вступ. ст. В. В. Бабкова. Новосибирск: Наука, 1983, 273 с., ц. 2 р. 30 к.

Институт цитологии и генетики Сибирского отделения АН СССР подготовил это издание к 100-летию со дня рождения С. С. Четверикова (1880—1959) — выдающегося отечественного биолога-эволюциониста, энтомолога и генетика, о котором академик АН БССР П. Ф. Рокитский сказал: «В лице Сергея Сергеевича Четверикова мы действительно имели основоположника эволюционной и популяционной генетики, заложившего еще в те далекие годы важнейшие ее принципы, определившие развитие этих областей генетики в последующие 50 лет и до наших дней. Четвериков создал советскую школу генетиков — популяционистов и эволюционистов, успешно продолжающую и развивающую традиции Четверикова и вносящую свой вклад в развитие мировой генетики».

В книгу включена классическая работа С. С. Четверикова «О некоторых моментах эволюционного процесса с точки зрения современной генетики»; напечатанные в малодоступных изданиях и не потерявшие своего общебиологического значения статьи «Волны жизни»¹ и «Основной фактор эволюции насекомых»; впервые на русском языке выходят «Материалы по анатомии водяного ослика», исследование первого периода научного творчества С. С. Четверикова; наконец, публикуются «Воспоминания»² ученого.

В большой вводной статье показано значение идей С. С. Четверикова, всего его твор-

чества и творчества его учеников для экспериментального изучения эволюционного процесса на основе точных генетических методов.

Биология

У. Брэдбери. ПТИЦЫ МОРЕЙ, ПОБЕРЕЖИЙ И РЕК. Пер. с англ. П. С. Гурова. Под ред. и с предисл. Л. С. Степаняна. М.: Мир, 1983, 128 с., ил., ц. 3 р. 40 к.

Это — четвертая книга из зарубежной серии «Удивительный мир диких животных» («Медведи и другие хищные звери» — 1980, «Киты и другие млекопитающие» — 1980, «Дикие кошки» — 1981).

Новая книга У. Брэдбери, американского ученого и писателя, посвящена птицам. Пингвины и пеликаны, гагары и альбатросы, цапли и скопы, утки и лебеди, гуси и чайки — все эти птицы так или иначе связаны с водной средой, однако видовое их разнообразие и специфика образа жизни столь велики, что как раз на этих контрастах автор и строит содержание книги. Ее текст органично дополнен отрывками из произведений мастеров прозы и великолепно иллюстрирован цветными фотографиями. Книга Брэдбери являет собой прекрасный образец современных возможностей съемок животных в природе. Фотографии, запечатлевшие птиц в самых разнообразных жизненных ситуациях, — это не только предмет эстетического восприятия, но и важный источник их познания.

«Ностальгия, тоска по природе, — пишет в предисловии Л. С. Степанян, — охватывает людей тем шире и глубже, чем больше они оказываются замкнутыми в пределах... урбанизированных комплексов. Общение с такими книгами, пусть иллюзорно, но все-таки погружает человека в мир природы. И, наконец, одна из самых привлекательных черт человеческого характера — любовь к животному, желание узнать о нем больше — неистребима у многих людей». Этим и можно,

очевидно, объяснить невиданный рост интереса именно к зоологическим книгам.

Геология

НОВЫЕ ХИБИНСКИЕ АПАТИТОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ. Под ред. Е. А. Каменова и Д. А. Минеева. М.: Недра, 1982, 184 с., ц. 70 к.

Хибинны — любимое детище А. Е. Ферсмана, одного из первооткрывателей богатейших Хибинских апатитовых месторождений и великого энтузиаста их комплексного освоения. К 100-летию со дня рождения зачинателя хибинской эпопеи вышла коллективная монография, посвященная работе большой армии геологов, осваивающих Хибинские недра.

Несмотря на полувековой срок эксплуатации, Хибинские месторождения сохраняют ведущее положение в фосфатном сырьевом балансе страны, являясь и сегодня важнейшим источником высококачественного фосфатного сырья для производства минеральных удобрений. Здесь же действует одно из крупнейших в мире горно-обогатительных предприятий — производственное объединение «Апатит», обеспечивающее ценнейшим апатитовым концентратом многочисленные заводы в нашей стране и за рубежом.

В книге излагается история открытия и изучения Хибин; охарактеризованы разработанные в последние годы теоретические основы поисков и разведки скрытых, не выходящих на земную поверхность, месторождений; на их основе в Хибинах обнаружены два новых апатитоносных рудных поля, включающих пять крупных месторождений.

Опыт научной организации поисковых, разведочных работ и всестороннего минералогического, геохимического и технолого-экономического изучения уникальных по сложности руд, охарактеризованный в книге, может оказаться полезным тем, кто занимается изучением и разведкой крупных рудных узлов и районов, а также специалистам, работающим над проблемой рационального использования минерального сырья, охраны недр и окружающей среды.

¹ См.: Волны жизни. (Из лепидоптерологических наблюдений за лето 1903 года.) — Природа, 1980, № 11, с. 95.

² Первая, четвертая и шестая главы «Воспоминаний» опубликованы в «Природе»: 1980, № 11, с. 88; 1980, № 5, с. 50; 1974, № 2, с. 68.

География. Метеорология

Л. З. Прох. СЛОВАРЬ ВЕТРОВ. Научн. ред. Л. Е. Анапольская, рец. М. М. Борисенко, Е. П. Веселов, С. Д. Кошинский. Л.: Гидрометеоздат, 1983, 312 с., ц. 1 р. 40 к.

В этом кратком толковом словаре около 2000 терминов. В первой его части собраны и систематизированы названия и характеристики многих местных ветров и ветровых систем локального и планетарного масштаба. С действием ветра, как известно, связано много природных процессов и явлений: эрозия почв, пыльные бури, волнения на водоемах, ураганы. Поэтому во второй части словаря приводятся некоторые синонимические, метеорологические, гидродинамические, географические, геологические, морские термины и характеристики, имеющие отношение к действию ветра. Кроме того, во вторую часть включены и специальные термины, необходимые для понимания основных статей, а также географические названия, связанные с ветром (например: Буэнос-Айрес — добрые ветры). В словаре можно найти объяснение, что такое «нагон», «глаз ветра», «ревущие сороковые широты», «золотые пески» и даже «бабье лето», «кутасья погодка» и др.

Археология

Жан-Клод Гарден. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ АРХЕОЛОГИЯ. Пер. с франц. Л. А. Лавлинской и Л. Е. Торшиной. Вступ. статья и ред. Я. А. Шера. М.: Прогресс, сер. «Общественные науки за рубежом», 1983, 295 с., ц. 1 р. 20 к.

Автор — известный французский археолог, окончивший Лондонский университет и Сорбонну, участник французского Сопротивления. За десятки лет работы в Афганистане он открыл много интересных памятников «с помощью раскопок и рассуждений». Эта его книга — первая в мировой археологической литературе, носящая сугубо теоретический характер. Она посвящена анализу рассуждений

археолога в тех звеньях научного исследования, которые находятся между сбором исходных данных и редактированием научной публикации», научному языку археологов и их логико-семантическому аппарату. Вместе с тем автор определяет критерии отбора источников и исторической интерпретации. Практически в книге сделана попытка раскрыть не традиционно археологическую, но не менее интересную «загадку»: показать особенности профессионального мышления археолога.

История науки

АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ ЛЮБИЩЕВ. 1890—1972. Под ред. П. Г. Светлова. Отв. ред. С. В. Мейен. Рецензенты О. А. Александровская, Н. Н. Воронцов, С. Г. Инге-Вечтомова, Р. С. Карпинская, Б. С. Соколов, Ю. В. Чайковский, С. С. Шварц. Л.: Наука, сер. «Научно-биографическая литература», 1982, 143 с., ц. 60 к.

Видный советский биолог П. Г. Светлов, друг и многолетний корреспондент А. А. Любищева, пишет в предисловии: «Мысль о небольшой книге, в которой кратко, но по возможности всесторонне был бы охарактеризован профессор Александр Александрович Любищев... как человек и ученый, возникла в кругу его друзей почти сразу же после смерти». И это естественно, потому что перед нами — прежде всего яркая личность, привлекавшая к себе внимание и повестью Д. А. Гранина «Эта странная жизнь» и многочисленными публикациями в журналах, среди которых «Природа» занимает не последнее место¹.

Назвать Любищева только биологом — значило бы слишком ограничить сферу его мыслительной работы. «Дух мате-

матики пронизывает всю деятельность Любищева», — пишет один из вдохновителей сборника Р. Г. Баранцев. Кроме того, в Любищеве всегда жил философ, «главным сочинением» своей жизни он считал «Линии Демокрита и Платона в истории культуры». Полемика была одним из любимых жанров в литературе и в беседе, парадоксы — свойство его натуры, благодаря которому он часто оставался непонятым.

Универсальность его личности, стойкость в убеждениях, сила воли, антипатия к компромиссам, умение «держат время в кулаке» затрагивает многих, одним восхищая, других раздражая, третьих раздражая — никого не оставляя равнодушным.

В сборнике, составленном как коллективная монография о Любищеве, пишут ученые — С. В. Мейен, М. Д. Голубовский, Р. Г. Баранцев, В. Г. Ковалев, А. Ф. Зубков, Ю. А. Шрейдер, В. А. Дмитриев; биографический очерк написан дочерью Любищева Е. А. Равдель.

С. С. Меретина,
кандидат философских наук
Москва

История науки

ИЗ ИСТОРИИ СРЕДНЕВЕКОВОЙ ВОСТОЧНОЙ МАТЕМАТИКИ И АСТРОНОМИИ. Отв. ред. С. Х. Сираджинов. Ташкент: изд-во «Фан» УзССР, 1983, 176 с., ц. 2 р. 20 к.

Сборник статей, подготовленный к печати Институтом математики им. В. И. Романовского АН УзССР, освещает различные вопросы истории точных наук (математики и астрономии) на Ближнем и Среднем Востоке в IX—XVI вв.

щевца. — Природа, 1983, № 6; Мейен С. В., Шрейдер Ю. А. Биологические парадоксы А. А. Любищева. — Природа, 1973, № 10; Скворцов А. К. Давняя дискуссия и современность. — Природа, 1983, № 6; Соколов Б. С. Полвека размышлений о биологии. — Природа, 1983, № 6.

¹ Любищев А. А. Значение и будущее систематики. — Природа, 1971, № 2; Он же. Понятие номогенеза. — Природа, 1973, № 10; Он же. Дарвинизм и недарвинизм. — Природа, 1973, № 10; Из переписки Б. С. Кузина и А. А. Люби-

1200-летию со дня рождения одного из блестящих математиков средневекового Востока — Мухаммада ибн Мусы ал-Хорезми (782—847) посвящены несколько материалов сборника. Обсуждаются вопросы, связанные с алгебраическим трактатом ал-Хорезми, сыгравшим важнейшую роль в истории этой дисциплины. Рассматривается влияние арифметики великого Алгоритма (латинизированное имя ал-Хорезми, ныне ставшее термином вычислительной техники) на развитие математики в Европе. Исследуется астрономический трактат ал-Хорезми, который, кроме всего прочего, дает повод для размышлений о взаимосвязи средневековой астрономии и медицины.

В сборник также вошли результаты исследований неизученных или малозученных средневековых сочинений по математике и астрономии. В частности, публикуется перевод с фарси, исследование и факсимиле отрывка из анонимного трактата с самыми ранними в истории среднеазиатской астрономии описаниями и рисунками астрономических инструментов.

История науки

Л. А. ОРБЕЛИ В ВОСПОМИНАНИЯХ СОВРЕМЕННИКОВ. К 100-летию со дня рождения. Отв. ред. Е. М. Крепс. Л.: Наука, 1983, 160 с., ц. 1 р. 10 к.

В сборник воспоминаний, подготовленный к 100-летию со дня рождения Леона Абгаровича Орбели (1882—1958), вошли 18 очерков, которые написаны в основном (за исключением четырех авторов) учениками Орбели. Открывают книгу мемуары жены Орбели — Елизаветы Иоакимовны, которая описывает семейное окружение Леона Абгаровича, студенческие годы в Петербурге и первый период его научной деятельности в лаборатории И. П. Павлова, научную командировку за границу и работу в лабораториях Э. Геринга и Дж. Ленгли, дружбу с

молодыми, а в дальнейшем знаменитыми физиологами Дж. Баркромфом и А. В. Хиллом. В сборник включены воспоминания друга Орбели — академика АМН СССР С. В. Аничкова, а также близкого соратника в период Великой Отечественной войны — профессора А. С. Георгиевского.

«Воспоминания и мемуары о таком крупном и оригинальном ученом и человеке, каким был Л. А. Орбели, с их эмоциональной окрашенностью, представляют для биографа и для всякого, кому дорога история отечественной науки, — сказано в предисловии к сборнику, — неоценимый материал, дополняющий литературные и документальные источники».

Археология

ДРЕВНОСТИ СТЕПНОЙ СКИФИИ. Сборник научных трудов. Ред. Е. Е. Кузьмина, Г. Т. Ковланенко. Киев: Наукова Думка, 245 с., ц. 2 р. 60 к.

Последние годы в скифской археологии ознаменовались выдающимися открытиями степных памятников, которые значительно расширили сложившиеся представления о скифах. И все же несмотря на обилие материалов, история и археология степных племен скифского времени (чье влияние в большой степени определяло исторический процесс не только в Восточной Европе, но и на значительных пространствах Евразии) остаются до сих пор малозученными.

Сборник (в нем участвуют Е. В. Черненко, В. А. Ильинская, В. Ю. Мурзин, Э. В. Яковенко, Н. А. Гварилук и др.) продолжает тематику вышедших ранее изданий Института археологии АН УССР («Скифские древности», «Скифский мир», «Скифы и сарматы», «Скифы и Кавказ»). Авторы анализируют глиняные скульптурки, обнаруженные на Кавказе, в Передней и Малой Азии и позволяющие определить степень проникновения скифов в эти регионы, уточнить детали их одежды и быта. Раскопки в Ростовской области

опровергли бытовавший до недавнего времени тезис об отсутствии у скифов подкурганных захоронений, что свидетельствовало о якобы низком культурном уровне их развития: ныне стали известны погребения в грунтовых ямах, деревянных и каменных гробницах, в катакомбах. Ранее считалось, что лепную керамику скифы вывозили из Греции. Типология лепной керамики во вновь обнаруженных памятниках свидетельствует о существовании собственно скифского ее производства.

Библиография

ДАВИД ЛЬВОВИЧ АРМАНД. БИБЛИОГРАФИЯ ПЕЧАТНЫХ ТРУДОВ 1920—1980 гг. Сост. Е. С. Стеклёнок, отв. ред. Э. М. Мурзаев, вступит. ст. А. В. Дроздова, М.: Институт географии АН СССР, 1982, 75 с., ц. 86 к.

Давид Львович Арманд (1905—1977) — крупный советский физико-географ, ландшафтовед и страновед. Его книга «Нам и внукам» — одно из первых и лучших научно-популярных произведений, посвященных охране природы. Но его имя хорошо известно не только географам, эсперантистам и конструкторам, агрономам и лесоводам, экологам и туристам. Человек разносторонний и творческий, он оставил большое и многоаспектное литературное наследие. В библиографию, выпущенную комиссией по изучению его литературного наследия, вошло 366 названий книг, брошюр, журнальных и газетных статей (всего учтено более 760 его работ). Предисловие, написанное одним из учеников Д. Л. Арманда, — по сути небольшой очерк его жизни и творчества. Книгу дополняет именной указатель соавторов Д. Л. Арманда, а также таблицы распределения его публикаций по жанрам, темам и периодам написания.

ПОПРАВКА

В № 9 на с. 53 допущена опечатка: в подписях под рисунками вместо ДВ следует читать УВ.

О задачах П. Л. Капицы

А. В. Митрофанов,
кандидат физико-математических наук
Москва

В предыдущем номере журнала были опубликованы условия четырех задач, предлагавшихся П. Л. Капицей на экзаменах по физике в Институте физических проблем АН СССР и Московском физико-техническом институте. Ниже приводятся варианты их решения и отдельные соображения, связанные с некоторыми аспектами этих задач.

Задача 1. Во время солнечного затмения люди обычно смотрят на Солнце через закопченное стекло. Оцените необходимую для этого толщину слоя копоти на поверхности стекла.

Значения яркости Солнца, матовой лампочки мощностью 40 Вт, свечи, в пламени которой мы закоптим стекло, и чистого неба, на фоне которого наблюдается затмение, относятся, как $5 \cdot 10^5 : 5 : 1 : 1$. Иными словами, закопченное стекло должно ослаблять видимый свет примерно в 10^5 раз.

Предположим, что слой копоти на стекле однороден и имеет одинаковую толщину z . Распространение светового потока в среде удается описать, если ввести комплексный показатель преломления $n - ki$, вещественная часть которого определяет изменение скорости света, а мнимая (так называемый коэффициент поглощения, или показатель экстинкции) — его ослабление в результате взаимодействия излучения с веществом. Тогда интенсивность излучения при нормальном падении на слой уменьшается в e^{kz} раз, где $k = 4\pi k/\lambda$ — показатель ослабления, λ — длина волны. Следовательно, $z = 5 \ln 10 \cdot \lambda/4\pi k$, и задача сводится к нахождению величины k .

Копоть, или газовая сажа, состоит из кристалликов графита с характерными размерами от 1 до 10 нм. Эти кристалли-

ки образуют более крупные хлопья, размеры которых близки к длине световой волны λ . Плотность сажи незначительно отличается от плотности графита (n и k приблизительно пропорциональны плотности среды), у которого в оптической области ($400 \text{ нм} \leq \lambda \leq 700 \text{ нм}$) $k \approx 1$, так что можно считать значение коэффициента экстинкции сажи примерно равным 1 и слабо зависящим от длины волны¹. Таким образом, при $\lambda = 500 \text{ нм}$ длина затухания $d = 1/k \approx 40 \text{ нм}$, а толщина слоя, ослабляющего свет в 10^5 раз, $z \sim \lambda$.

Похожий результат получается, если с учетом электропроводности графита $\sigma = 10^5 \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$ (около 10^{15} с^{-1} в абсолютной гауссовой системе единиц) оценить толщину скин-слоя, т. е. расстояние, на котором электромагнитная волна затухает в проводящей среде в e раз, $l = \sqrt{c\lambda/\mu\sigma}/2\pi$, где $\mu = 1$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ — скорость света в вакууме. Для $\lambda = 500 \text{ нм}$ эта величина оказывается того же порядка, что и d ($l \approx 60 \text{ нм}$). Парадокс, однако, в том, что электропроводность слоя сажи на стекле во много раз меньше, чем у графита, так что, если подставить действительное значение электропроводности сажи, а не графита, пользоваться этой формулой для оценки толщины поглощающего слоя, конечно, нельзя.

Более точно определить x или z удается с помощью методов, применяемых для описания оптических свойств дисперсных сред². Например,

для слоя, состоящего из графитовых шариков, диаметр которых много меньше длины световой волны, вычисленное значение показателя ослабления в зависимости от плотности упаковок шариков в 2—4 раза превышает использованную нами величину. Отметим, что ослабление светового потока в этой модели, как и в рассмотренном случае однородного слоя, определяется в основном поглощением, а не рассеянием излучения.

Итак, для наблюдения солнечного затмения толщина слоя копоти на стекле должна быть соизмерима с длиной волны видимого света, но это соответствие является, безусловно, случайным.

В заключение обратим внимание на то, что точное решение задачи довольно просто можно получить экспериментальным путем.

Задача 2. Два спутника летят один другому навстречу. Опишите, что произойдет при их лобовом столкновении.

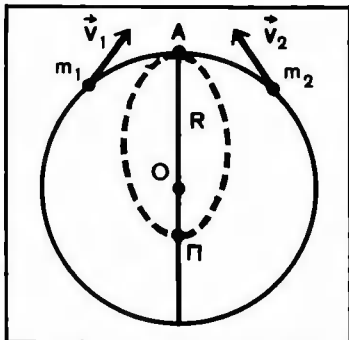
Эта задача многоплановая, включающая целый комплекс проблем, требующих рассмотрения, в частности поведение материалов в экстремальных условиях. С учетом этого можно предсказать, что произойдет со спутниками в результате столкновения и описать их дальнейшее движение в поле тяжести Земли. Рассмотрим сначала задачу о спутниках в ее простейшей постановке.

Итак, пусть два спутника с массами m_1 и m_2 движутся навстречу по общей круговой орбите радиусом R и с центром в точке O . Их скорости равны первой космической скорости $V_1 = \sqrt{\gamma M/R}$, где M — масса Земли, γ — гравитационная постоянная. Предположим, что они сталкиваются в точке A и удар абсолютно неупругий, т. е. в результате столкновения спутники (или, вернее, то, что от них осталось) «слиплись». В этом случае после удара спутники

¹ Показатель преломления коллоидального углерода, плотность которого близка к плотности сажи, был измерен в экспериментах по рассеянию света и оказался равен 2—1. i. См., напр.: Jansen T.— J. Colloid and Interface Sci., 1979, № 3, p. 436.

² Хюлст Г. ван де. Рассеяние света малыми частицами. М., 1961; Петров Ю. И. Физика малых частиц. М., 1982.

имеют общую скорость $V = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} V_1$ (для определенности будем считать, что $m_1 > m_2$)¹.



Как будет двигаться в поле тяготения образовавшееся при столкновении тело массы $m = m_1 + m_2$? Из законов Кеплера следует, что его орбита — эллипс, один из фокусов которого находится в точке О. В момент столкновения вектор V перпендикулярен радиусу круговой орбиты, и точка А является апогеем новой орбиты (подумайте, почему не перигеям). Пользуясь законами сохранения полной энергии и момента количества движения (после столкновения), найдем расстояние r_n от центра Земли в перигее:

$$r_n = R / \left[2 \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1 - m_2} \right)^2 - 1 \right],$$

или, при условии $m_1 \gg m_2$, $r_n \approx R(1 - 8m_2/m_1)$. Для существования замкнутой орбиты должно выполняться неравенство $r_n > R_3$, где R_3 — радиус Земли. Отсюда следует, что спутник массой $m_2 = 6$ кг при лобовом столкновении способен «посадить» на Землю спутник массой $m_1 = 1000$ кг (если не учи-

тывать влияние атмосферы и считать, что первоначальная орбита находилась на высоте 300 км). Эта ситуация существенно отличается от столкновения на дороге мотоцикла с самосвалом, когда последний вряд ли сойдет с нее от удара. Дело в том, что космическая «дорога» очень узкая: $R - R_3 \ll R_3$. Поэтому ясно, сколь высокие требования предъявляются к двигателям коррекции, необходимым для реализации длительной устойчивой орбиты спутника даже в сильно разреженном газе (торможение в верхних слоях атмосферы).

Но что же будет со спутниками в момент удара? Одни только законы сохранения не позволяют однозначно ответить на этот вопрос. Выделяющаяся при столкновении энергия достаточна для того, чтобы испарить по крайней мере часть массы спутников. Действительно, тело массой 1 г на околоземной орбите обладает кинетической энергией $3 \cdot 10^4$ Дж, тогда как для разогрева и испарения 1 г твердого вещества требуется энергия $10^3 - 10^4$ Дж. В результате, столкновение спутников сопровождается явлениями, аналогичными тем, которые имеют место, например, при падении метеороидов на Луну (ударные волны, большие механические и тепловые разрушения и т. д.)².

Эти явления воспроизводятся в настоящее время в лабораториях, занимающихся разработкой так называемой электромагнитной пушки, способной одним импульсом сообщить снаряду скорость, сравнимую с первой космической³, а также при исследовании кумулятивных эффектов во взрывах. Сконцентрированное в определенном направлении действие взрыва создает давления порядка 10^{10} Н/м², намного превосходящие предел прочности самой лучшей брони⁴.

Струя металла (при таких давлениях металл ведет се-

бя подобно жидкости) от кумулятивного снаряда имеет скорость, близкую к космической, и проникает в металлическую преграду, как мощная струя воды в мягкую глину. Таким образом, реальное столкновение спутников на орбите напоминает встречу двух потоков жидкости, скорость каждого из которых во много раз превосходит скорость звука в металле.

Задача 3. На корабле установлен воздушный двигатель типа ветряной мельницы, который вращает гребной винт корабля. Рассмотрите возможные движения такого корабля против ветра.

В такой постановке задача похожа на известное предложение «тащить себя за волосы», но только на первый взгляд. Чтобы убедиться в том, что это не так, рассмотрим простейшую модель устройства, работоспособность которого предлагает проверить П. Л. Капица.

Пусть на горизонтальной границе раздела двух сред находится в состоянии покоя тело массой M (корабль), в которое неупруго ударяется другое тело массой m_1 , движущееся горизонтально с первой среде со скоростью V_1 . Спрашивается, можно ли, используя часть энергии этого удара, отбросить в нужном направлении некоторую массу m_2 из второй среды так, чтобы тело стало двигаться в противоположном направлении со скоростью V . Введем коэффициент η , показывающий, какая часть энергии массы m_1 преобразуется в кинетическую энергию массы m_2 . Воспользовавшись законом сохранения импульса системы масс m_1 , m_2 и M , мы придем к несколько неожиданному выводу: при любом значении η можно, отбрасывая достаточно большую массу m_2 , заставить тело M двигаться в направлении, противоположном V_1 . Для этого, как нетрудно проверить, должно выполняться неравенство $m_2 > m_1/\eta$.

Такая модель позволяет установить лишь принципиальную возможность движения корабля против ветра. Сконструировать оптимальный двигатель или даже просто проанализи-

¹ Строго говоря, предположение об абсолютно неупругом ударе справедливо при $m \gg m_2$ и соответствует ситуации, когда меньший спутник, пробив обшивку большего, «застраивает» в нем (даже если он испарился там от чрезмерного нагрева). Подразумевается, что спутник не может пролететь через другой насквозь и двигаться далее самостоятельно.

² Гласс И. И. Ударные волны и человек. М., 1977.

³ Phys. Today, 1980, № 12, p. 19.

⁴ Лаврентьев М. А.— Усп. матем. наук, 1957, т. 12, вып. 4, с. 41.

ровать проект устройства значительно сложнее из-за необходимости учета КПД реальных винтов, а также аэро- и гидросопротивления, возникающего при движении системы в двухслойной среде (воде и воздухе). Более подробное исследование помогает ответить на вопрос, почему трудно изготовить сравнительно быстроходный корабль с двигателем этого типа. Вследствие низкого КПД винта судно с таким двигателем не может конкурировать с обычным парусником, который, двигаясь под малым углом к направлению ветра и меняя направление движения, легко обгонит это судно.

Тем не менее возможность двигаться строго против ветра на корабле с двигателем подобного типа (парусник этого не может) издавна привлекала изобретателей. С такими судами проводились эксперименты еще в начале века. В 1934 г. М. Брабазон из Великобритании одним из первых построил корабль с ветродвигателем, способный двигаться против ветра. Недавно А. Альба из Марселя оборудовал катамаран длиной около 5 м и шириной 2,5 м воздушным винтом, который приводит в действие гребной винт. Двухлопастный пропеллер диаметром 5 м укреплен на мачте высотой 4,25 м и вращается в плоскости, перпендикулярной направлению ветра. При скорости ветра 10 м/с катамаран с таким двигателем развивает строго против ветра скорость около 5 узлов (2,6 м/с). Скорость

движения судна по ветру примерно в 2,5 раза больше.

Подобный способ передвижения в принципе может быть использован и для сухопутных транспортных средств.

Задача 4. В аудиторию входит студентка. Она надушена духами «Красная Москва». Оцените промежуток времени, через который профессор сможет почувствовать запах духов.

Руководствуясь житейским опытом, можно предположить, что профессор ощутит аромат духов через несколько секунд или даже долей секунды после появления студентки (в зависимости от того, как далеко от профессора студентка, какая температура в аудитории, включено ли отопление, есть ли сквозняк, здоров ли профессор и т. д.). Существенным для решения задачи является то, что перенос «запаха» осуществляется конвективными потоками, которые возникают из-за неоднородного нагрева воздуха, что ведет к его перемешиванию за счет циркуляции в поле тяготения¹. Временной интервал τ_1 , за который объем воздуха,

нагретый, например, на $\Delta T \approx 10$ К по сравнению со средней температурой T воздуха в помещении, «всплывет» вверх на высоту $H \sim 1$ м, можно оценить

$$\text{по формуле } \tau_1 \sim \sqrt{\frac{H \Delta T}{g T}} \sim$$

~ 1 с (g — ускорение свободного падения). В результате циркуляции воздуха его температура и концентрация пахучего вещества в аудитории выравниваются. Более строгие оценки времени перемешивания удаётся провести, используя результаты модельных экспериментов и теорию подобия (метод размерностей)².

Важно отметить, что распространение запахов — процесс очень быстрый по сравнению с диффузией: при диффузионном перемешивании молекулы в воздухе «преодолеют» расстояние 1 м за время $\tau_2 \sim H^2/D \sim 10^4$ с $\gg \tau_1$ (D — коэффициент диффузии). Высокая скорость распространения запаха воспринимается как нечто само собой разумеющееся (в противном случае чувство обоняния было бы просто ненужным) и, по-видимому, в какой-то мере послужила одной из причин того, что сравнительно недавно всерьез полагали, будто запахи передаются... электромагнитными волнами. Так, еще А. Ф. Иоффе, будучи студентом Санкт-Петербургского технологического института, проводил эксперименты по проверке этой гипотезы.

² См., напр.: Баворт Р. Ч. Л. Процессы теплового переноса. М., 1957.

¹ В этой задаче мы интересуемся только переносом пахучих веществ в воздухе, отвлекаясь от механизмов их восприятия человеком. Интересная информация о природе и восприятии запахов можно найти в книгах: Вольткенштейн М. В. Общая биофизика. М., 1978; Райт Р. Наука о запахах. М., 1966.

В номере использованы фотографии АЛЕКСЕЕВА Н. Н., БОРКИНА Л. Я., МЕЗЕНЦЕВА М. В., ОРЛОВА Н. Л., СЕМЕНОВА Д. В. и ТАСС.

Художник П. Г. АБЕЛИН
Художественные редакторы:
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯК

Корректоры:
Т. Д. МИРЛИС, М. Б. РЫБИНА

Адрес редакции:
117049, Москва, ГСП-1,
Мароновский пер., 26.
Тел. 238-24-56, 238-26-33

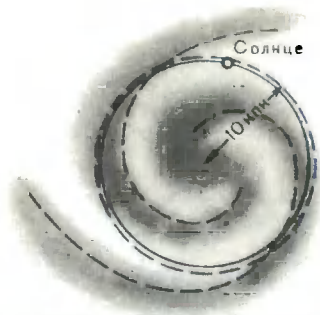
Сдано в набор 3.08.83
Подписано к печати 8.09.83
Т-16642
Формат 70×100 1/16
Офсет
Усл.-печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 1569,6 тыс.
Уч.-изд. л. 14,5
Бум. л. 4
Тираж 58 632 экз. Зак. 2176

Ордена Трудового Красного
Знамени Чеховский полиграфический
комбинат ВО «Союзполиграфпром»
Государственного комитета СССР
по делам издательства, полиграфии
и книжной торговли.
г. Чехов Московской области



— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere).

Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы.



В следующем номере

Существуют ли внеземные цивилизации, где и как их искать — на этот счет существуют разные мнения. Галактический антропоцентристский принцип, учитывающий особые условия в узких кольцевых областях — зонах коротации, позволяет оценить число цивилизаций земного типа в Галактике.

Марочник Л. С., Мухин Л. М. Галактический «пояс жизни».



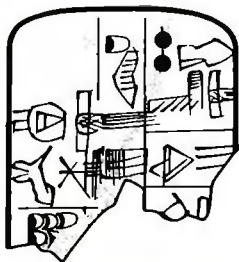
Обитаемые глубоководные аппараты изменили наше представление о населенности океанских глубин, возможностях рыболовства и эффективности средств лова.

Заферман М. Л. Подводные исследования биологических ресурсов океана.



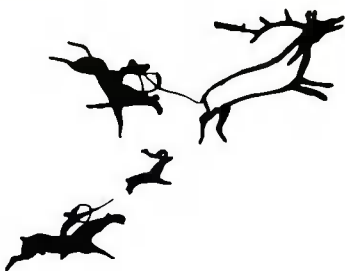
Легенды и сказания разных народов помогут сейсмологам выявить землетрясения, неизвестные науке.

Никонов А. А. Землетрясения в легендах и сказаниях.



Ближний Восток эпохи неолита явился родиной той культурной традиции, которая в дальнейшем составила основу всех последующих достижений европейской науки и искусства.

Иванов В. В. Язык как средство реконструкции истории. Древнейшие системы письма Передней Азии и Южной Европы.



В сибирских степях, где сейчас из крупных животных можно встретить лишь домашний скот, когда-то кипела буйная дикая жизнь.

Смирнов М. Н. Дикие животные Южной Сибири.

Цена 80 коп.
Индекс 70707

