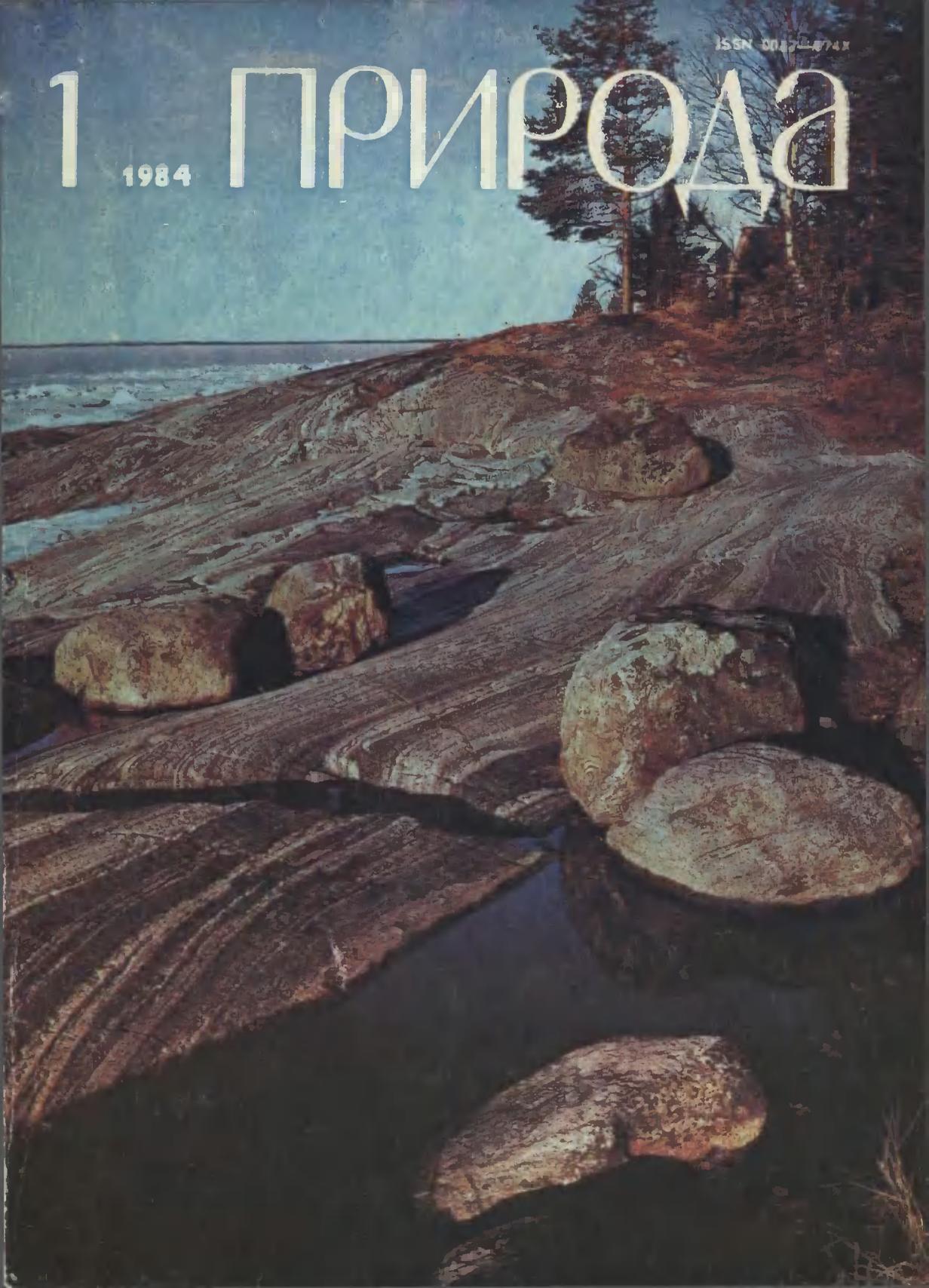


ISSN 0013-774X

1 ПРИРОДА

1984



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

Член-корреспондент АН СССР
В. Т. ИВАНОВ

Доктор физико-математических наук
Н. П. КАЛАШНИКОВ

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. ЧЕРЕПАШУК

Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ

Академик
В. А. ЭНГЕЛЬГАРТ

На первой странице обложки. Берег Белого моря. См. в номере: Крючков В. В. Стратегия охраны природы Севера. Фото В. Е. Гиппенрейтера.

На четвертой странице обложки. Только при погружениях под арктический лед удалось увидеть ледяные «сталактиты». См. в номере: Мельников И. А. Живой лед.

Фото В. Д. Грищенко.

В НОМЕРЕ

Жданов Ю. А. Карл Маркс и социальная роль науки	3
<i>Маркс видел в науке наиболее основательную форму богатства общества, рациональную основу производства и планирования, предвидения хода природных и социальных процессов.</i>	
Ефимов А. И., Яковлев О. И. Солнечный ветер	11
<i>«Просвечивание» межпланетной среды радиоволнами дает исследователям подробную картину зарождения, формирования и течения солнечного ветра в пределах Солнечной системы.</i>	
БУДУЩЕЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ НАУКИ	
Соколов Б. С. Ближайшие задачи и отдаленные перспективы геологии	19
Пуцаровский Ю. М. Предстоит большая работа по геологии океанов	21
Барсуков В. Л. Перспективы геологии — в изучении планет	22
Добрецов Н. Л. Возрастет роль глобальной петрологии...	24
Мейен С. В. Нужна теоретическая геология как некоторая консолидированная концепция	25
Леонов М. Г. Геотектонические модели следует строить на реальной основе	27
Ханн В. Е. Теоретическая геология в перспективе ближайшего десятилетия	28
Шевелев А. С. Парадокс иммунитета: «чужое» в «своем»	30
<i>Кроме общей иммунной системы у человека предполагается существование в некоторых органах автономных иммунных систем.</i>	
Крючков В. В. Стратегия охраны природы Севера	38
<i>Намечена программа мероприятий охраны природы Севера, отличающейся чрезвычайной хрупкостью и легкой разрушаемостью при антропогенном воздействии на экосистемы региона.</i>	
Голубов В. Н., Галдобина Л. П. Краски Дионисия и древний ледник	51
<i>Спор искусствоведов и реставраторов о происхождении красок, которыми написаны знаменитые фрески Ферапонтова монастыря, пытаются разрешить геологи.</i>	
Моисеев Н. Н. Козволюция человека и биосферы: кибернетические аспекты	60
<i>Изучение глобального экологического процесса становится насущной необходимостью, ибо поддержание экологической стабильности в недалеком будущем потребует от человечества всех его интеллектуальных и экономических усилий.</i>	
ЖИЗНЬ ВО ЛЬДУ И ПОДО ЛЬДОМ	
Мельников И. А. Живой лед	68
<i>Арктический лед — не только «кожа» океана и источник питательных веществ, но также субстрат, в толще которого живут разнообразные организмы.</i>	
Ривьер И. К. Жизнь подо льдом	77
<i>Знание режима северных водоемов в зимний период и невидимой жизни подо льдом необходимо, чтобы поддержать равновесие водных экосистем.</i>	

Исакович М. А. Н. Е. Жуковский и эхо-импульсная дефектоскопия 81
 Современная эхо-импульсная дефектоскопия — эффективный метод исследования структуры непрозрачных объектов. Его идея и основные принципы содержатся в работе выдающегося русского ученого Н. Е. Жуковского, опубликованной в конце прошлого столетия.

Любин В. П. Первоначальное заселение Средней Азии 90
 На территории Туркмении обнаружены памятники домустьевого периода, сходные с памятниками того же времени на Ближнем Востоке. Гипотеза о заселении Средней Азии со стороны Ближнего Востока и Иранского нагорья находит новое подтверждение.

ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 1983 ГОДА

Блинников С. И., Надежин Д. К. По физике — С. Чандрасекар и У. А. Фаулер 94

Корочкин Л. И. По медицине — Б. Макклинток 98

Шилов А. Е. По химии — Г. Таубе 100

НОВОСТИ НАУКИ

102

Продолжение экспедиции на «Салют-7» [102] • Новые спутники Венеры [102] • «Вертикаль-11» [103] • Гигантские грозы на Сатурне [104] • Звезда «взвешивает» Галактику [104] • Кто открыл новую комету? [105] • Измерено число циклов мюонного катализа [105] • Обнаружение микротрещин под поверхностью кристаллов [106] • Полупроводниковые сверхрешетки [106] • Коллоидные системы генерируют ток [107] • Роль эффекта спилловера водорода в катализе [107] • Метилирование подавляет активность генов [108] • Химические корни привычки к алкоголю [108] • Аскорбиновая кислота — антиканцероген [109] • Микроорганизмы — очистители воды от нефти [109] • Новый корм для животных [110] • Вес мозга и экстраполяционные способности [110] • Левое ухо слышит лучше [110] • Вулканический пепел и здоровье [111] • Структура химических веществ и их генетическая опасность [111] • Температура определяет пол [112] • Способность муравьев охлаждать гнездо [112] • Может ли пчела поступать разумно? [113] • Фталаты — регуляторы дифференциации пола у растений [114] • Температура воды меняет параметры токсичности ее загрязнителей [114] • 87-й и 88-й рейсы «Гломара Челленджера» [115] • Карта плитовой тектоники Тихого океана [116] • Геологическая история Калифорнии [116] • Советско-финский эксперимент с МГД-генератором [117] • Древнейшие породы Земли [118] • Уроки Аkitского землетрясения [118] • Открыт древний разлом [118] • Необычная активность Эребуса [119] • Древний осьминог [119]

РЕЦЕНЗИИ

120

Малиновский А. А. К изданию трудов основоположника эволюционной генетики (на кн.: С. С. Четвериков. Проблемы общей биологии и генетики (воспоминания, статьи, лекции)) 120

Гершензон С. М. Изучение китов и дельфинов методами фенетики (на кн.: В. Эванс, А. В. Яблоков. Изменчивость окраски китообразных. Новый подход к изучению окраски млекопитающих) 122

НОВЫЕ КНИГИ

123

Пуанкаре А. О науке [123] • **Эльясберг П. Е.** Измерительная информация: сколько ее нужно? как ее обрабатывать? [124] • **Ребров М., Козырев В., Денисенко В.** СССР — Франция. На космических орбитах [124] • Редкие и исчезающие виды флоры СССР, культивируемые в ботанических садах и других интродукционных центрах страны [124] • Социальные аспекты экологии [124] • **Узин С. В.** Имя на карте [125] • **Фролов К. В., Пархоменко А. А., Усков М. К.** Анатолий Аркадьевич Благодрава (1894—1975) [125] • Методологические и философские проблемы истории [125]

В КОНЦЕ НОМЕРА

Гельман Э. Е. Наполеон Бонапарт и ... сахарная свекла

126

Карл Маркс и социальная роль науки

Ю. А. Жданов



Юрий Андреевич Жданов, член-корреспондент АН СССР, председатель Президиума Северо-Кавказского научного центра высшей школы, ректор Ростовского государственного университета им. М. А. Суслова. Специалист в области химии природных соединений, теоретической органической химии, философии естествознания, истории и теории культуры. Автор многих монографий, в том числе: Гомология в органической химии. М., 1950; Воздействие человека на природные процессы. М., 1952; Ленин и естествознание. М., 1959; Очерки методологии органической химии. М., 1960; Учение о противоречии как суть, как ядро материалистической диалектики. М., 1967; Теория строения органических соединений. М., 1971; Сущность культуры (в соавторстве с А. Е. Давидовичем). Ростов-на-Дону, 1979; Энтропия информации в органической химии. Ростов-на-Дону, 1979. Неоднократно выступал в журнале «Природа».

Духовная культура всякого общества представляет собой сложное сплетение многообразных и различных элементов. Она включает в себя сумму сведений, систему знаний о природе, обществе и человеке; в нее входят представления о прекрасном, эстетические ценности, этические нормы, мировоззренческие принципы. Отдельные элементы духовной культуры отнюдь не одинаково, не с равным удельным весом выступают в той или иной конкретной социальной — исторической — обстановке. Рассматривая вопрос исторически, можно убедиться, что в разные эпохи выступала на первый план, становилась ведущей та или иная сторона культуры. Так, цементирующей формой античного мира была эстетическая, художественная культура с ее идеалом прекрасного физически и нравственно человека, стремление в архитектуре, скульптуре воплотить совершенную красоту, основать на сверкающей мифе эпическую и лирическую поэзию, все мировоззрение.

К. Маркс с присущей ему объективной ясностью мысли и беспощадностью показал, почему должен был рухнуть античный образец. Рассматривая законы народонаселения, он отмечал, что для древних Греции и Рима важнейшим элементом общественного строя была ограниченность численности населения; стремление поддер-

жать ее вызывало нескончаемую эмиграцию, бесконечные волны колонистов. «Но почему это было так? — спрашивает Маркс. — Потому что этим государствам было совершенно неизвестно применение науки в области материального производства. Чтобы сохранить свою цивилизацию, их граждане должны были оставаться немногочисленными. В противном случае им грозило подчинение игу того изнурительного физического труда, который превращал тогда свободного гражданина в раба.»¹

Действительно, на протяжении тысячелетий общественное производство базировалось на все возрастающей массе эмпирических сведений, наблюдений, фактов, на выработанных методом проб и ошибок способах трудовой деятельности. Не следует с презрением или высокомерием относиться к этому грандиозному зданию человеческого эмпиризма; оно служит свою полезную службу и по сей день. В то же время шаг за шагом, на основе опытных эмпирических данных формировалась научная картина мира, постепенно раскрывавшая объективные его закономерности.

Однако для применения этих знаний не было необходимой технологической и социальной базы до тех пор, пока процесс

¹ Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 8, с. 567.

разделения труда не расщепил само производство на простейшие, элементарные операции, которые могли быть переданы машине. На этой почве возникла реальная возможность соединения научного знания с массовым производством многообразных средств и орудий труда, предметов потребления, что совершилось в недрах и рамках капиталистического общества. Маркс, глубоко анализируя природу буржуазных отношений, делает важный вывод: «Только капиталистическое производство впервые превращает материальный процесс производства в применение науки к производству — в науку, внедренную в практику, — но только путем подчинения рабочего капиталу и путем подавления его собственного умственного и профессионального развития».²

Это подавление развития рабочего вызывается тем, что капиталистический способ производства отрываёт друг от друга различные виды труда, разъединяет умственную и физическую деятельность, обрекает работника на тупой, нетворческий, однообразный труд. Содействуя обогащению эксплуататорских классов общества, укреплению экономического могущества и политической власти буржуазии, работники науки, при всех своих благих пожеланиях, раскаяниях и сокрушениях, оказываются в антагонистических отношениях к трудящимся классам. «Наука выступает как чуждая, враждебная по отношению к труду и господствующая над ним сила...»³

Техника капиталистического производства создает материальные условия для развития науки. Возникают целые отрасли, поставляющие науке многообразные средства исследования.

При этом, однако, не следует забывать глубокой мысли Маркса: «Капитал не создает науки, но он эксплуатирует ее, присваивает ее для нужд процесса производства».⁴ В условиях буржуазного общества имеет место эксплуатация науки, а границы развития знания определяются тем, насколько наука является средством обогащения, орудием укрепления классового господства эксплуататоров. В наше тревожное время с особенной яркостью подтвердились мысли Маркса о социальной роли науки в условиях капитализма. Превращая шаг за шагом производительные силы общества в разрушительные, капитал и великую силу знания обращает во враждебную лю-

дям форму деятельности. Научные достижения, используемые военно-промышленным комплексом империалистических держав, вызывают ныне чудовищную опасность термоядерного, химического, бактериологического уничтожения. С гневом и отвращением приходится признавать, что и в научной среде существуют «адвокаты дьявола», вроде Э. Теллера, С. Козна, пытающиеся оправдать и одобрить подобное использование науки против сил прогресса, против человечества, против самой жизни на земле.

Буржуазия как класс внутренне враждебна науке, знанию. Эксплуатируя теоретическую мысль человечества, она бесстыдно отвергает выводы науки, как только они начинают противоречить ее классовым интересам. Маркс показал, что именно так случилось с политической экономией, которая была объективной наукой лишь до того момента, как буржуазия захватила политическую власть. Обострившаяся классовая борьба, выступление пролетариата в качестве активной силы на арене истории — все это обусловило разрыв буржуазии с честным, бескорыстным научным исследованием общественных отношений. По словам Маркса, «пробил смертный час для научной буржуазной политической экономии. Отныне дело шло уже не о том, правильна или неправильна та или другая теорема, а о том, полезна она для капитала или вредна, удобна или неудобна, согласуется с полицейскими соображениями или нет».⁵ Буржуазия враждебна не только научной политической экономии, но и объективному исследованию других сторон общественного бытия; эксплуатируя для своих практических нужд материалистический, рационалистический дух естествознания, она в то же время поддерживает ненаучные, иррациональные, религиозные, мистические взгляды и учения вплоть до различных форм прямого обскурантизма и шарлатанства.

Не исчезают, да по самой природе вещей и не могут исчезнуть, из круга буржуазных представлений скептические идейки недоверия к науке, неверия в ее силы и возможности. Когда-то академик И. П. Павлов, критикуя агностиков из среды психологов и физиологов, отрицавших возможность познания высших духовных функций человека, ядовито писал: «У них, по-видимому, имеется желание, чтобы их предмет оставался неразъясненным, вот какая странность!»⁶. Эта «странность» характеризует и

² Там же, т. 47, с. 559.

³ Там же, с. 555.

⁴ Там же, с. 554.

⁵ Там же, т. 23, с. 17.

⁶ Павлов И. П. Избр. произв. М., 1949, с. 473.

современных буржуазных ученых, отвергающих познаваемость законов социальной жизни, объективности закономерностей исторического процесса. В основе такого понижения знания лежит боязнь неотвратимых и объективных выводов науки, предвещающей неизбежное падение опасных для человечества буржуазных общественных отношений.

В своих работах Маркс вскрыл несостоятельность буржуазного примитивного и извращенного понимания науки как прямого источника богатства. Он отмечал, что «даже высшие виды духовного производства получают признание и становятся извинительными в глазах буржуа только благодаря тому, что их изображают и ложно истолковывают как прямых производителей материального богатства». Вульгарные экономисты пытаются на счетах (или ЭВМ) «вычислить» экономический эффект науки. У них можно вычитать, что там-то и там-то наука производит уже четверть или треть национального богатства. Ну что же, остается в 4 или 3,3 раза увеличить число научных учреждений и работников, и тогда наука произведет все 100% общественного дохода! Все это, конечно, пустяки. Наука не производит богатства в стоимостной форме, и лишь высмеянные Марксом «сикофанствующие мелкие чиновники от политической экономии стали считать своей обязанностью возвеличивать и оправдывать любую сферу деятельности указанием на то, что она «связана» с производством материального богатства, что она служит средством для него».⁸

Превращение науки в непосредственную производительную силу в буржуазном сознании представляется как ее способность непосредственно делать деньги, производить богатство. Но это лишь превращенная и извращенная форма восприятия действительности. Реальный смысл утверждения, что наука производит уже четвертую часть национального богатства, может заключаться лишь в том, что четвертая часть этого богатства произведена на основе не эмпирической, рутинной, традиционной, а на базе рациональной научной технологии. При этом стоимость произведенного богатства определяется не наукой, а общественным трудом работника, приносящего науку.

Здесь следует помнить предупреждение Маркса: «Продукт умственного тру-

да — наука — всегда ценится далеко ниже ее стоимости, потому что рабочее время, необходимое для ее воспроизведения, не идет ни в какое сравнение с тем рабочим временем, которое требуется для того, чтобы первоначально ее произвести»⁹. Необходимо вспомнить, что и многие другие производительные силы, используемые при производстве стоимости, не входят в ее состав. К ним следует причислить производительные силы природы, в частности земли, а также кооперации труда. Это же относится к науке как производительной силе, носителю которой Маркс писал в строгой форме: «Самые полезные вещи, такие как знание, вообще не имеют меновой стоимости»¹⁰. Энгельс отмечал это более образно: «...политическая экономия — не дойная корова, снабжающая нас молоком, а наука, требующая серьезного и ревностного служения ей»¹¹.

Учение Маркса об источниках, о происхождении стоимости исходит из того факта, что в условиях частной собственности различные виды труда не могут непосредственно проявить свой общественный характер. Эти виды труда выступают как независимые, чуждые друг другу, их общественная связь выявляется через стоимость, которая в результате обмена товаров показывает не только частный, но и всеобщий характер заключенного в них труда. Для интеллектуального производства такая процедура является излишней. В соответствии со взглядами Маркса, «всеобщим трудом является всякий научный труд, всякое открытие, всякое изобретение»¹². В самом деле, когда Д. И. Менделеев, работая в России, открыл Периодический закон химических элементов, то уже не было необходимости заново переоткрывать его во Франции или Америке: он сразу же стал всеобщим достоянием.

Отвергая и высмеивая ограниченное и узколобое буржуазное представление о науке как источнике меновой стоимости и материального богатства, Маркс в то же время утверждал глубочайшую мысль о том, что наука — наиболее основательная форма богатства, являющаяся как продуктом, так и производителем богатства¹³.

Это утверждение связано с марксовым пониманием роли науки в истории человечества, в развитии духовной и мате-

⁹ Там же, с. 355.

¹⁰ Там же, т. 42, с. 241.

¹¹ Там же, т. 16, с. 213.

¹² Там же, т. 25, ч. II, с. 116.

¹³ Там же, т. 46, ч. II, с. 33.

⁷ Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 26, ч. I, с. 282.

⁸ Там же, с. 159.

риальной культуры. В науке концентрируется накапливаемое столетиями знание о законах развития окружающего мира и самого человечества, отражается и аккумулируется опыт предметно-практического преобразования мира; на научной основе формируется способность предвидеть ход природных и социальных процессов. Человеческое познание, разум каждого индивида совершенствуется по мере накопления научных знаний. Маркс называет науку всеобщим духовным продуктом общественного развития, «продуктом всеобщего исторического процесса развития, абстрактно выражающим его квинтэссенцию»¹⁴.

Такое понимание науки обусловило постоянный интерес Маркса к ее истории, истокам, закономерностям формирования и развития. Современные буржуазные специалисты в области науковедения готовы с почтением рассуждать о Марксе как об ученом экономисте, о его вкладе в экономическую науку, но они нацело лишены понимания роли Маркса в исследовании самой науки.

Будучи великим ученым, Маркс в поле своего зрения держал весь комплекс наук как общественных, так и естественных. Он не только сделал величайшие открытия в области теории исторического процесса, понимания экономических законов, философии, социологии. Учение Маркса — гигантский шаг в научном развитии всего человечества.

Маркс с пристальным вниманием следит за всей областью научного знания. Он изучает математику; история технических знаний от механики до электротехники служит для него предметом постоянного исследования. С известным химиком К. Шорлеммером его связывают не только дружеские отношения, но и глубокий интерес к химической науке, к работам Ю. Либиха в области агрохимии, к теоретическим представлениям о строении молекул в трудах Ш. Жерара и Ф. Кекуле.

Маркс знакомится с трудами Т. Шванна и М. Шлейдена по морфологии растений и обоснованию клеточной теории, с работами по анатомии мозга и нервной системы, с физиологическими исследованиями. Особое внимание привлекают работы по географии; именно на их основе Маркс делает свой знаменитый вывод о том, что культура, если она развивается стихийно, а не направляется сознательно, оставляет после себя пустыню.

Работы по эволюции Вселенной,

теории И. Канта и П. Лапласа становятся также предметом пристального внимания великого мыслителя. Характеризуя своего друга, Энгельс писал: «Не было человека, который испытывал бы более чистую радость, чем он, при виде каждого достижения науки в любой области, независимо от того, было ли оно практически применимо или нет. Но на науку он смотрел прежде всего как на могущественный рычаг истории, как на революционную силу в самом высоком значении этого слова»¹⁵.

Марксов подход к науке нельзя понять до конца, если не принять во внимание его отношение к тому, что является противоположностью науке — к незнанию, к темноте и невежеству. «Невежество, — подчеркивал молодой Маркс, — это демоническая сила, и мы опасаемся, что оно послужит причиной еще многих трагедий»¹⁶. Попытки анархистов, в частности М. А. Бакунина, принизить роль науки, сознательности в революционном движении встретили гневную отповедь Маркса. Он бросает Бакунину упрек в том, что тот проповедует русской молодежи культ невежества. Как бы предвывая последующие гримасы пролеткульта, Бакунин полностью отвергает общественные науки — философию, политэкономию, историю, объявляет их ложными и вредными, губительными для молодежи.

Надо сказать, что критика Маркса в адрес российских анархистов имела серьезное историческое значение для судеб нашей родины. В XIX в. Россия стала быстро развиваться по пути научного прогресса. Появились первые мощные научные школы, яркие имена Н. И. Лобачевского и И. М. Сеченова, позже — Д. И. Менделеева и И. П. Павлова. В области социальных наук Россия выдвинула таких крупных ученых, как Н. Г. Чернышевский, Н. А. Добролюбов, В. В. Берви-Флеровский и другие. Маркс уважал и поддерживал это движение русской научной мысли. В то же время он видел всю глубину отсталости России, темноту ее масс, дикость правящих кругов, которые действовали по формуле: «Лучше совсем истребить науки, чем допустить превратные толкования». В этих условиях малейшее умаление науки, знания, разума лило воду на мельницу самых консервативных, реакционных сил.

Маркс последовательно отстаивает необходимость критического восприятия всей предшествующей духовной культуры, философской традиции от Демокрита до

¹⁴ Там же, т. 49, с. 110.

¹⁵ Там же, т. 19, с. 348—349.

¹⁶ Там же, т. 1, с. 112.

Гегеля. Не только анархистов, но и мелкобуржуазных демократов Маркс поднимал на смех за преклонение перед невежеством, слепыми инстинктами несведущих людей. Когда неудачливые и незадачливые деятели революции 1848 г. Мадзини, Руге, Ледрю-Роллен попытались отвергнуть «черствую исключительность теории» в пользу «коллективной интуиции» народа, как якобы отвечающей чаяниям и настроениям трудящихся, то Маркс и Энгельс назвали это напыщенной чепухой. «Так же как они ненавидят развитие и борьбу,— писали великие революционеры,— так эти господа ненавидят мышление... Этот призыв к отказу от мышления есть прямая попытка обмануть именно самые угнетенные классы народа».¹⁷

Анализируя взгляды Сисмонди, Маркс называет реакционным стремление французского экономиста изгнать науку из промышленности. Маркс видел великий и неизбежный исторический процесс вторжения науки в производство, названный им бесшумной революцией. Он утверждал: «Классы и народы, слишком слабые для того, чтобы справиться с новыми условиями жизни, обрекаются на гибель».¹⁸ Надо сказать, что предупреждение Маркса сохраняет свою актуальность и для наших дней, когда разрывается научно-техническая революция, стержнем которой является массовое проникновение в производство методов кибернетики, информационной техники, электронных вычислительных машин, интенсивное развитие на этой основе автоматики и робототехники.

Маркс ревностно защищал науку от чуждых ее духу и природе вмешательств извне, навязывания науке точек зрения, почерпнутых из иных сфер бытия, в первую очередь от претензий религиозного сознания и различных бюрократических вмешательств. Он заложил прочные основы союза между наукой и нравственностью, хотя и по сей день люди с буржуазным складом ума разрывают эти две сферы человеческого духа. В «Предисловии к критике политической экономии» Маркс предваряет свое исследование следующим предупреждением:

«А у входа в науку, как и у входа в ад, должно быть выставлено требование:

Здесь нужно, чтоб душа была тверда;
Здесь страх не должен подавать советов».¹⁹

Строки «Божественной комедии» Данте как нельзя ярко характеризуют самого Маркса, его непреклонность, объективность, требовательность и смелость в искании истины. Маркс, по его собственным словам, надеялся добиться для партии пролетариата научной победы, и он добился ее и для революционного класса, и для всего человечества.

Маркс гневно бичевал буржуазных ученых, их привилегированное сословие за сделки с научной совестью, которую они совершают вопреки истине, в корыстных и своекорыстных целях. Именно о таких и подобных людях он писал: «Существует двоякого рода смелость: смелость превосходства и смелость умственного убожества, черпающая силу из своего официального положения, из сознания, что она пользуется в борьбе привилегированным оружием и т. д.»²⁰

Всякий ученый в эксплуататорском обществе испытывает на себе давление и гнет государственного аппарата, бюрократической машины, клерикальных организаций, которые стремятся помешать свободе исследований под тем предлогом, что выводы науки могут разойтись с официальной точкой зрения. Маркс решительно отбрасывал такие поползновения; по его словам, не существует «официального разума», который не учится у науки, а поучает ее и, как некое ученое провидение, устанавливает каких размеров должен быть каждый волосок в бороде ученого мужа, чтобы он стал воплощением мировой мудрости».²¹

Решительно отбрасывая любую попытку регламентировать научное исследование, устанавливать ему границы, предопределять результаты, Маркс издевался над теми, кто, по его словам, превращал знание в «апологетический комментарий» к бюрократическим канонам, к узколюбимым взглядам правящих клик. Нередко они пытались «подправить» науку от имени практики, житейского опыта, новых и самой новейшей данных. Маркс дал им следующую беспощадную характеристику: «Но человека, стремящегося приспособить науку к такой точке зрения, которая почерпнута не из самой науки (как бы последняя ни ошибалась), а извне, к такой точке зрения, которая продиктована чуждыми науке, внешними для нее интересами,— такого человека я называю «низким»».²²

¹⁷ Там же, т. 7, с. 487.

¹⁸ Там же, т. 8, с. 568.

¹⁹ Там же, т. 13, с. 9.

²⁰ Там же, т. 6, с. 322.

²¹ Там же, т. 1, с. 97.

²² Там же, т. 26, ч. II, с. 125.

К таким людям Маркс относил Мальтуса, пытавшегося приспособить результаты своих исследований, пресловутый закон народонаселения к потребностям и вкусам буржуазных классов.

Может, однако, возникнуть вопрос: а не увлекся ли Маркс, восстав против попыток подправить науку извне, в том случае, когда она ошибается? И в самом деле, что дурного в попытках «подправить» науку с позиции, скажем, практики?

Маркс глубоко понимал диалектику развития науки, соотношения в ней абсолютной и относительной истины, важнейшую роль практики в процессе познания. Он ясно отдавал себе отчет в том, что в науке менее полное, менее точное знание заменяется более полным и точным, что отдельные положения наука отбрасывает как преодоленные односторонние и ошибочные. Дело здесь, однако, в том, что этот процесс развития знаний должен совершаться внутри самой науки, в соответствии с внутренней ее логикой, а не навязываться извне чуждой прихотью, субъективной волей, случайными наблюдениями, наскоками, капризом или раздражением.

Эти цензоры и менторы от науки, по ядовитому замечанию Маркса, отличались одной чертой: «Все они гордились тем, что у них нет талантов, зато есть характер»²³. И не случайно в другом месте Маркс и Энгельс в адрес исправителей науки приводят перефразированные слова Гете:

«Они на драку мастера,
Но рассуждать им не под силу».²⁴

Маркс искренне ликовал по поводу того, что в битве с классово враждебными силами невежества и корысти, в сражении против буржуазного мира ему удалось добиться научной победы. Урок и опыт Маркса — не только достояние его личной нелегкой судьбы. Его подвиг — пример и призыв для всех бескорыстных и беззаветных искателей истины. В первую очередь к нему должны быть отнесены слова его великого друга Фридриха Энгельса о гордом мужестве, «которое следует истине, не отступая перед самыми ее крайними выводами, и высказывает ее открыто и ясно, не страшась последствий»²⁵.

Важнейшая социальная функция науки заключается в том, чтобы открыть законы движения и развития общества.

Эти законы не даются простым наб-

людением, сбором эмпирического или статистического материала. Маркс предупреждал, что люди становятся жертвой мистификаций, беспомощно барахтаются на поверхности явлений, если они ограничиваются в подходе к общественным явлениям формами внешней видимости. По словам Маркса, «в их мозгу всегда отражается лишь непосредственная форма проявления отношений, а не их внутренняя связь. Если бы, впрочем, имело место последнее, то зачем вообще нужна была бы тогда наука?»²⁶

Позиция Маркса здесь вплотную примыкает к общечеловеческой философской традиции и развивает взгляды Гегеля на соотношение быденного и теоретического сознания. Гегель отмечал, что «обыденное сознание вообще не входит в рассмотрение внутренних связей, существенного в вещах, причин, оснований, целей, но довольствуется тем, что берет все существующее как нечто отдельное, в соответствии с его лишенной значения случайностью»²⁷. От поверхности явлений, от пестрого мира случайных событий необходимо «спуститься в недра социальной жизни». «Задача науки заключается в том, чтобы видимое, выступающее на поверхности явлений движение свести к действительному внутреннему движению», — пишет Маркс в «Капитале»²⁸. Эта скрытая сущность может по своей форме противоречить обыденному явлению, подобно тому как истинное вращение Земли противоречит наблюдаемому суточному движению Солнца.

Маркс, Энгельс и Ленин, опираясь на весь многовековой опыт науки, открыли основные закономерности и тенденции развития общества, показали объективную неизбежность замены капитализма социалистическим общественным строем, определили основные черты нового общества. Но жизнь не стоит на месте, она непрерывно требует научного анализа общественных форм, явлений, событий. Это относится и к социалистическому строю, познание закономерностей которого выступает как серьезнейшая задача науки. Об этом говорил на июньском (1983 г.) Пленуме ЦК КПСС Генеральный секретарь ЦК КПСС Ю. В. Андропов.

По представлениям Маркса и Энгельса, социалистический строй не только тре-

²³ Там же, т. 12, с. 175.

²⁴ Там же, т. 11, с. 17.

²⁵ Маркс К., Энгельс Ф. Из ранних произведений. М., 1956, с. 398.

²⁶ Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 31, с. 266.

²⁷ Гегель. Эстетика. М., 1971, т. III, с. 358.

²⁸ Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 25, ч. 1, с. 343.

бует постоянного научного анализа, но попросту немыслим вне и без науки, которая является его теоретической, идейной, духовной базой. В «Учредительном манифесте международного товарищества рабочих» Маркс подчеркнул коренное, принципиальное отличие буржуазного общества от грядущего социалистического: «...здесь дело шло о великом споре между слепым господством закона спроса и предложения, в котором заключается политическая экономия буржуазии, и общественным производством, управляемым общественным предвидением, в чем заключается политическая экономия рабочего класса»²⁹.

Итак, великий исторический спор, спор о путях, о судьбах человечества,— спор вокруг одного, единственно важного вопроса: как идти? Стихийно, вслепую, ориентируясь на случайность интересов, или, устраняя всякую стихийность, взять весь общественный жизненный процесс под сознательный, планомерный контроль? Должна ли внутренняя связь процесса производства подчинить себе трудящихся как стихийный, незримый и слепой закон, а не как закон, «достигнутый их коллективным разумом и потому подвластный ему, подчиняющий процесс производства их общему контролю»³⁰.

Для Маркса коренной чертой социалистической революции является переход от длительного и мучительного периода господства вещей над личностью к эпохе господства человека над природой; господства как над силами внешней окружающей природы, так и над внутренними общественными, социальными силами.

Присущий социализму коллективный разум имеет сложную социальную природу и историю своего становления. Не всеми он воспринимается, некоторые встречают его в штыки как некий абстракт идеалистической природы. Но не следует забывать, что для Маркса разум есть практическое действие по объективной логике предмета, а в социальной сфере — по объективной логике общественного развития. Что касается коллективности, то речь идет о разумном действии ассоциированных индивидов в пределах свойственных социализму социальных структур: рабочих коллективов, демократических органов управления, профессиональных и иных союзов, клубов, советов, наконец, партии, как высшей формы организации, основывающей

свою политику на прочном фундаменте марксистско-ленинской науки.

В условиях социализма реализуется сложная программа перестройки общественной, традиционно сложившейся технологии на научных началах, осуществляется поставленная Марксом задача: «...коммунистам предстоит показать, что только при коммунистических отношениях уже достигнутые технологические истины могут быть осуществлены на практике...»³¹

Наивно предполагать, что реализация этой задачи есть одномоментный чудодейственный акт. К ее решению вели сложные этапы, охватывающие действия и усилия миллионов людей: осуществление сплошной грамотности, массовое овладение техническими навыками, техническое перевооружение производства, создание сплошного фронта науки с сотнями и тысячами исследовательских институтов, организация научного приборостроения, формирование информационной сети журналов и библиотек, наконец, воспитание грамотных научно-технических кадров в центре, на периферии, в далеких национальных окраинах. Только на этой базе и может сформироваться коллективный разум общества.

Превращение науки в непосредственную производительную силу общества выступает как следствие огромного труда партии и народа. Мера этого превращения является, по Марксу, «показателем того, до какой степени условия самого общественного жизненного процесса подчинены контролю всеобщего интеллекта и преобразованы в соответствии с ним; до какой степени общественные производительные силы созданы не только в форме знания, но и как непосредственные органы общественной практики, реального жизненного процесса»³².

Роль науки в становлении новой общественной формации чрезвычайно сложна и многогранна. Она выступает в качестве рациональной основы производства и общественного планирования. На базе науки совершается воспитание всесторонне развитого индивида, поскольку научное знание становится основой всей духовной и материальной культуры. Только использование данных науки открывает возможность установления рационального обмена веществом и энергией между обществом и природой, — восстанавливает-

²⁹ Там же, т. 16, с. 9.

³⁰ Там же, т. 25, ч. 1, с. 282.

³¹ Там же, т. 27, с. 483.

³² Там же, т. 46, ч. 11, с. 215.

ся разумное и в то же время эмоциональное отношение к земле, открывается возможность предвидения все более отдаленных последствий процесса производства.

В условиях социализма снимается антагонизм между трудом и знанием, наступают коренные перемены в судьбах людей науки. По поводу них Маркс писал: «Средний класс чувствует, что лишь рабочий класс может освободить его от господства попов, превратить науку из орудия классового господства в народную силу, превратить самих ученых из пособников классовых предрассудков, из честолюбивых государственных паразитов и союзников капитала в свободных труженников мысли! Наука может выполнить свою истинную роль только в Республике Труда».³³

В нашей стране многое сделано для того, чтобы наука превратилась в подлинную народную силу. В. И. Ленин, следуя завету Маркса, призывал советский народ «учиться и затем проверять то, чтобы наука у нас не оставалась мертвой буквой или модной фразой (а это, нечего греха таить, у нас особенно часто бывает), чтобы наука действительно входила в плоть и кровь, превращалась в составной элемент быта вполне и настоящим образом».³⁴

Советским ученым, инженерам и техникам, рабочим и хозяйственникам еще немало придется потрудиться, чтобы реализовать заветы Маркса и Ленина, невиданно ускорить научно-технический прогресс, внедрение достижений науки и передового опыта. Ленин призывал смотреть вперед, в сторону прогресса техники, чтобы не оказаться немедленно отставшими. Историческое соревнование двух общественных систем требует гигантского напряжения творческой научной мысли, организаторских способностей, материальных ресурсов для победы социализма. Как во всякой битве, здесь неизбежны и неудачи, но конечный итог должен быть вырван ценой величайших усилий: наш общественный строй обязан показать свое превосходство над буржуазным обществом во всех сферах научно-технического развития.

Для ученых советской страны открыты широкие возможности в деле использования их научных результатов, свободного исследования актуальных вопросов

науки. Трудящиеся нашей родины уважают труд ученых и смотрят на них с надеждой на помощь в развитии передового общественного производства. Люди науки не должны обмануть этих надежд.

Опубликованное в августе 1983 г. постановление Центрального Комитета КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по ускорению научно-технического прогресса в народном хозяйстве» отмечает серьезные успехи в развитии отечественной науки и техники. Наша страна в короткие исторические сроки вышла на передовые рубежи прогресса. Об этом свидетельствуют успехи в овладении космосом, развитии ракетостроения и электроники, создании атомной энергетики, строительстве уникальных гидроэлектростанций, достижениях в области молекулярной биологии, медицины и во всем спектре естественных, технических и общественных наук. Постановление ориентирует на коренное улучшение внедрения в практику науки и техники в целях кардинального повышения производительности труда. Выполнение этого важного решения партии и правительства требует напряженных усилий работников науки и техники, старых и молодых, стимулирует научный поиск во всех сферах знания. Оно будет содействовать решению задач строительства коммунистического общества, историческую неизбежность которого открыл научный гений Маркса.

Познание будущего, разумное предвидение, отвергающее пустые гадания и иллюзорные прогнозы,— вот самая высокая цель науки.

В своем классическом труде «Карл Маркс» Ленин, рассматривая диалектику социальных процессов, противоречия общественного движения, выдвинул исключительно важный тезис: «Движение в свою очередь рассматривается не только с точки зрения прошлого, но и с точки зрения будущего (курсив мой.— Ю.Ж.) и притом не в пошлом понимании «эволюционистов», видящих лишь медленные изменения а диалектически...»³⁵

Величие научного подвига Маркса в том именно и состоит, что его учение открывает для всего человечества ясную и обоснованную перспективу движения вперед, перспективу свободного и разумного развития.

³⁵ Там же, т. 26, с. 77—78.

³³ Там же, т. 17, с. 559.

³⁴ Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 45, с. 391

Солнечный ветер

А. И. Ефимов, О. И. Яковлев



Анатолий Иванович Ефимов, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института радиотехники и электроники АН СССР. Область научных интересов — исследование распространения радиоволн в плазме солнечного ветра. Лауреат Государственной премии СССР.



Олег Изосимович Яковлев, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией того же института. Основные работы связаны с радиофизическими исследованиями атмосферы и поверхности планет, околосолнечной плазмы, а также с задачами распространения радиоволн. Лауреат Государственной премии СССР.

Прошло около 25 лет с того момента, как советская станция «Луна-2» обнаружила в пространстве между Землей и Луной упорядоченные потоки плазмы, движущиеся с большими скоростями в направлении от Солнца. Незадолго до этого открытия американский астрофизик Е. Н. Паркер теоретически предсказал такое явление и назвал его солнечным ветром.¹ Однако первые сведения о существовании регулярного потока вещества от Солнца были получены при изучении хвостов комет, всегда,

как известно, направленных от Солнца. Исследования геомагнитных возмущений еще в 50-х годах привели киевских астрономов во главе с С. К. Всехсвятским к представлению о протяженной динамической солнечной атмосфере, которая создается притоком вещества от фотосферы Солнца². Эти предположения и подтвердились в 1959 г. во время полета автоматической станции «Луна-2».

За прошедшие четверть века движущиеся потоки плазмы солнечного происхождения детально изучены в широком

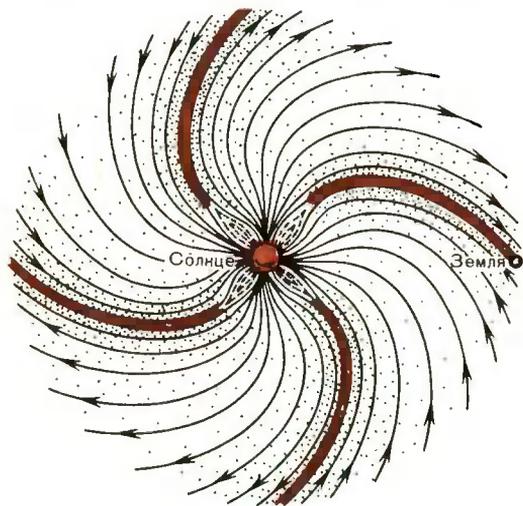
¹ Грингауз К. И., Безруких В. В., Озеров В. Д., Рыбчинский Р. Е.— Доклады АН СССР, 1960, т. 131, с. 1301.

² Паркер Е. Н. Динамические процессы в межпланетной среде. М., 1965.

³ Всехсвятский С. К., Никольский Г. М., Пономарев Е. А., Чердынченко В. И.— Астрон. ж., 1955, т. 32, № 1, с. 165.

диапазоне расстояний от Солнца, и сейчас можно констатировать, что название «солнечный ветер» удачно соответствует сути явления. Первая часть названия указывает на источник потоков, а вторая достаточно хорошо описывает характер процесса. Движущиеся в определенном направлении потоки плазмы содержат протоны, электроны, более тяжелые ионы; в зависимости от солнечной активности их скорость у орбиты Земли изменяется в широких пределах — от 200 до 1000 км/с.

Быстрые потоки частиц могут дого-



Секторная структура солнечного ветра, образующаяся в соответствии с полярностью магнитного поля Солнца. Границы секторов показаны цветными линиями; в этих областях напряженность магнитного поля близка к нулю. В соседних секторах направление магнитного поля противоположно. Потоки плазмы (точки) движутся в радиальных направлениях и, увлекая начинающиеся на поверхности Солнца магнитные силовые линии (сплошные линии со стрелками), закручивают их в спирали. При вращении Солнца секторная структура тоже вращается с периодом 27 суток. Время прохождения одного сектора (по отношению к неподвижному наблюдателю) составляет 4—7 суток. Вид секторной структуры — количество секторов, их протяженность в пространстве — изменяется с периодичностью в несколько лет. Стрелкой показано направление вращения Солнца.

нять более медленные, которые покинули Солнце раньше. В области взаимодействия тех и других потоков концентрация частиц будет повышенной, т.е. возникнут сгущения. Наоборот, медленные потоки от областей с низкой активностью по мере удаления от Солнца будут все более

отставать от ранее ушедших быстрых потоков. Так в пространстве возникают области с низкой концентрацией частиц — разрежения.

Естественно, потоки солнечного ветра оказывают сильное влияние на процессы, происходящие в межпланетном и околоземном пространстве. Особый интерес представляет изучение солнечно-земных связей, поскольку важно своевременное и надежное прогнозирование событий в околоземном пространстве и вблизи поверхности Земли. Решение этой задачи тесно связано с исследованием структуры солнечного ветра. Ведь если его параметры определять только вблизи орбиты Земли, прогноз будет краткосрочным, так как вызываемые солнечным ветром возмущения распространяются с большой скоростью. Если же исследовать солнечный ветер непосредственно у поверхности Солнца, где он зарождается, то возможен долгосрочный прогноз событий в околоземном пространстве — за 2—8 суток.

Как формируется солнечный ветер и каким образом его начальные свойства влияют на характеристики межпланетного пространства — таков первый важный аспект изучения этого явления. Где влияние Солнца прекращается и солнечный ветер останавливается межзвездным газом, галактическим магнитным полем — так ставится второй вопрос. Об этом мы и постараемся рассказать.

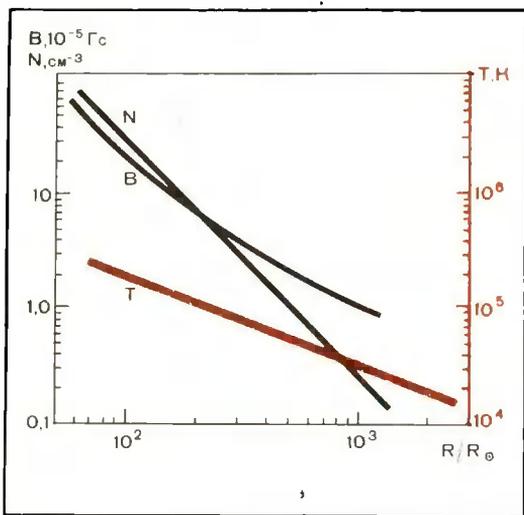
СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР ПО ДАННЫМ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

К настоящему времени с помощью установленных на космических аппаратах приборов солнечный ветер изучен в широком диапазоне расстояний: от орбиты Меркурия до орбиты Нептуна. Исследования продолжались более 20 лет, т.е. почти в течение двух циклов солнечной активности. Для определения концентрации частиц в солнечном ветре и скорости их движения использовались плазменные зонды, а магнитное поле измерялось с помощью магнитометров.

Дальше всего удалился от Солнца американский космический аппарат «Пионер-10», который передал информацию о солнечном ветре с расстояний, превышающих 6 тыс. радиусов Солнца; он был близок к орбите Нептуна. (В дальнейшем гелиоцентрические расстояния мы будем выражать с помощью величины R_{\odot} , равной радиусу Солнца; $R_{\odot} = 0,697 \cdot 10^6$ км.) Прямые измерения и теоретические оценки

характеристик солнечного ветра на больших расстояниях от Солнца позволили установить границу, за которой концентрация плазмы становится столь малой, что солнечный ветер трудно отличить от сильно разреженной межзвездной среды. Как известно, концентрация частиц в межзвездном газе равна приблизительно 10^4 частиц/м³. Так вот, в солнечном ветре такие значения концентрации достигаются на расстоянии $4900 R_{\odot}$ от Солнца.

С удалением от Солнца падает и температура протонов и электронов, но ее



Зависимость средних значений концентрации заряженных частиц N , температуры T и напряженности магнитного поля B в солнечном ветре от расстояния R , выраженного в единицах солнечного радиуса R_{\odot} .

уменьшение происходит более медленно, чем уменьшение плотности плазмы. На орбите Меркурия — т.е. на расстоянии $83 R_{\odot}$ от Солнца — температура протонов составляет в среднем $2 \cdot 10^5$ К; вблизи Юпитера она в 10 раз меньше. В то же время температура межзвездного газа, по оценкам, равна $(0,5—1) \cdot 10^4$ К. Следовательно, плазма солнечного ветра охлаждается до температуры межзвездного газа на расстоянии около $5000 R_{\odot}$ от Солнца.

Еще одна важная характеристика солнечного ветра — величина его магнитного поля. Межпланетная плазма представляет собой «замагниченную» среду: магнитное поле несут с собой от Солнца сами потоки плазмы, т.е. магнитное поле как бы «вморожено» в них. Его напряженность на сравни-

тельно малых расстояниях от Солнца уменьшается пропорционально квадрату расстояния, а на дистанциях более $400 R_{\odot}$ — пропорционально первой степени расстояния. Так, вблизи орбиты Меркурия напряженность магнитного поля составляет $5 \cdot 10^{-4}$ Гс, а на орбите Юпитера эта величина не превышает 10^{-5} Гс, т.е. всего в 5 раз больше напряженности межзвездного магнитного поля. Выравнивание магнитных полей того и другого происхождения наступает на расстояниях $5500 R_{\odot}$ от Солнца.

Итак, равенство трех важных параметров солнечного ветра (концентрации, температуры и магнитного поля) и межзвездной среды наступает на расстояниях $5000—5500 R_{\odot}$, т.е. вблизи орбиты восьмой планеты Солнечной системы — Нептуна.

Наиболее подробно солнечный ветер изучен прямыми методами в области расстояний, соответствующих орбитам планет Земной группы — Венеры, Земли, Марса. Большой вклад в эти исследования внесли советские аппараты серий «Луна», «Венера», «Марс», а также американские станции типа «Маринер», «Пионер», «Викинг». Результаты исследований хорошо согласуются между собой. Средняя концентрация частиц солнечного ветра вблизи Земли составляет $6 \cdot 10^6$ м⁻³, а скорость движения потоков плазмы равна приблизительно 450 км/с.

Для изучения плазмы солнечного ветра на более близких расстояниях, чем радиус орбиты Меркурия, в 1974 и 1976 гг. исследователи из США и ФРГ осуществили запуск солнечных зондов «Гелиос-1» и «Гелиос-2»; была получена информация о свойствах плазмы на расстояниях от 63 до $215 R_{\odot}$. По этим данным, на самых близких расстояниях от Солнца концентрация солнечной плазмы достигает 10^8 частиц/м³, а средняя скорость потоков вещества — около 400 км/с.

ИЗУЧЕНИЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА МЕТОДОМ РАДИОПРОСВЕЧИВАНИЯ

Еще ближе к Солнцу космические аппараты подойти не могут из-за высокой температуры в этих областях. Поэтому в короне Солнца характеристики солнечного ветра исследуют методом радиопросвечивания. Если источник радиоволн (космический аппарат или радиоастрономический источник) и Земля расположены по разные стороны от Солнца, то радиоволны проходят через движущуюся неоднородную плазму солнечной короны. При этом изменяются все параметры радиоволн — фаза,

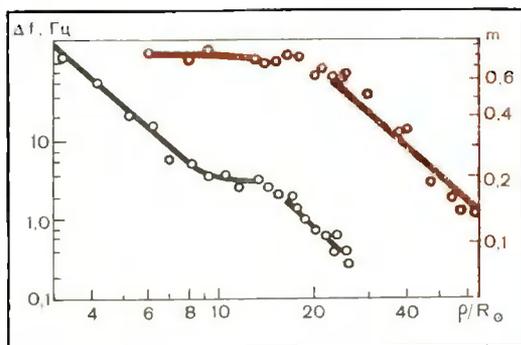
частота, амплитуда, время распространения, форма спектральной линии. Естественно, эти изменения накапливаются на всем пути распространения радиоволн, но наибольший вклад вносят участки трассы, расположенные наиболее близко к Солнцу, так как концентрация плазмы резко уменьшается с удалением от Солнца. Благодаря этому наблюдаемые изменения параметров сигналов можно локализовать и отнести к определенному расстоянию от Солнца, называемому прицельным расстоянием ϱ . По мере движения космического аппарата и точки наблюдения ϱ изменяется; поэтому, зондируя различные области, можно изучать солнечный ветер в короне и сверхкороне Солнца, т. е. на расстояниях от 1,2 до 50 радиусов Солнца.

Здесь мы хотим сделать небольшое отступление. Дело в том, что, говоря о методе «радиопросвечивания», нельзя не вспомнить известного советского радиоастронома В. В. Виткевича, с 1948 г. работавшего в Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР. Именно он в 1951 г. предложил исследовать солнечную корону, «просвечивая» ее радиоизлучением от далеких космических источников. С помощью этого метода Виткевич впервые исследовал внешние области солнечной короны, открыл сверхкорону Солнца и радиальные магнитные поля в окосолнечном пространстве. Прогресс космической техники позволил в качестве источников радиоизлучения использовать в дальнейшем космические аппараты.

Эффективность подобных радиометодов изучения солнечного ветра была продемонстрирована во время полета советских межпланетных станций «Марс-2», «Марс-7» и «Венера-10» в 1972—1976 гг. Наблюдения за сигналами велись в нескольких пунктах на Земле, разнесенных на значительные расстояния для повышения точности измерений и получения дополнительных связей между наблюдаемыми эффектами при последовательном прохождении потоков плазмы сначала через одну трассу распространения радиоволн, а затем — через вторую. Дело в том, что если в потоках плазмы имеются какие-либо образования со специфическими свойствами, то по временному сдвигу между моментами их наблюдения на той и другой трассе можно определить скорость движения этих потоков.

В период наблюдения за сигналами станции «Венера-10» в апреле — июле 1976 г. линия радиосвязи (радиолуч) между аппаратом и наземными пунктами сначала

приближалась к Солнцу (прицельное расстояние уменьшалось от 60 до 1 R_{\odot}), а затем, пройдя над Северным полюсом Солнца, стала удаляться от него. При этом параметры радиосигналов как дециметрового, так и сантиметрового диапазонов изменялись тем сильнее, чем ближе радиолуч находился к Солнцу. Так, из-за движения неоднородностей плазмы через трассу распространения радиоволн возникли флуктуации, или колебания фазы, частоты, уровня сигнала, размывалась спектральная линия сигнала. Ширина спектра



Изменение параметров радиосигналов (Δf и m) станции «Венера-10» при прохождении линии радиосвязи через окосолнечное пространство на различных прицельных расстояниях ϱ от центра Солнца; Δf — ширина спектральной линии, m — интенсивность флуктуации уровня сигналов.

передатчика дециметровых радиоволн составляла около 0,2 Гц. Плазма солнечного ветра, создавая случайные колебания фазы и частоты, была причиной расширения спектральной линии, тем большего, чем ближе радиолуч подходил к Солнцу. Так, на расстоянии около 3 R_{\odot} ширина спектральной линии дециметровых радиоволн достигала сотен герц, что в пятьсот раз превышало ширину спектральной линии передатчика. Сильно изменялся и уровень сигнала. На больших удалениях радиолуча от Солнца приемные системы регистрируют сигнал с приблизительно постоянной амплитудой. С приближением трассы распространения радиоволн к Солнцу начинают регистрироваться флуктуации амплитуды радиоволн, которые резко увеличиваются и достигают 100% на прицельных расстояниях порядка 20 R_{\odot} (если используется диапазон дециметровых волн). Вообще же, влияние солнечного ветра на прохождение радиоволн тем сильнее, чем больше длина этих волн.

Теория распространения радиоволн позволяет установить связь между эффектами распространения радиосигналов и свойствами среды, через которую они проходят. В частности, ширина спектральной линии пропорциональна степени неоднородности среды и скорости движения плазменных сгустков, в то время как уровень флуктуаций амплитуды зависит только от степени неоднородности. Таким образом, анализ одновременных измерений разных параметров радиосигналов позволяет определить характеристики солнечного ветра.

В итоге интенсивного радиозондирования околосолнечной среды был получен большой объем данных о свойствах солнечного ветра как в областях, пока недоступных для прямых измерений, так и в районах, где подобные измерения уже проводились прямыми методами. Доказательством достоверности радиофизических методов явился тот факт, что их результаты и данные прямых измерений хорошо согласовались между собой в пространстве, где эти данные перекрывались. Использование радиофизических методов позволило приблизиться к поверхности Солнца на предельно малые расстояния — всего на $0,7 R_{\odot}$.

В результате выполненных экспериментов были получены сведения о солнечном ветре в области его формирования, на расстояниях от $1,7$ до $60 R_{\odot}$. Для этой области пространства определены зависимости от расстояния электронной концентрации, скорости потоков плазмы и напряженности магнитного поля. При приближении к Солнцу плотность частиц и интенсивность неоднородностей резко увеличиваются. Так, на расстояниях около $10 R_{\odot}$ концентрация частиц достигает 10^{10} м^{-3} . Скорость движения в этих областях существенно меньше, чем на орбите Земли, и составляет $150\text{—}200 \text{ км/с}$. Изучена также турбулентность плазмы.

ДЕЙСТВИЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА ПЛАНЕТЫ

С помощью солнечного ветра наша звезда контролирует разнообразные процессы, происходящие в окрестностях планет. Особенно четко это влияние можно продемонстрировать на примере Земли, так как наша планета обладает совокупностью свойств, которые у других планет имеются лишь в отдельности: значительным магнитным полем, достаточно плотной нейтральной атмосферой (тропосферой) и протяженной ионосферой.

В наиболее удаленной от поверхности Земли области набегающий на нее солнечный ветер деформирует магнитное поле Земли, создавая вокруг планеты оболочку определенной конфигурации — так называемую магнитосферу. Со стороны, обращенной к Солнцу, магнитосфера представляет собой полость приблизительно полусферической формы. На ночной стороне Земли полость вытягивается в протяженный хвост примерно цилиндрической формы. При изменении свойств солнечного ветра границы магнитосферы могут сдвигаться в ту или иную сторону.

В более близкой к поверхности Земли области — ионосфере — солнечный ветер вызывает полярные сияния, магнитные или ионосферные возмущения и бури, которые, в свою очередь, влияют на условия радиосвязи, увеличивая поглощение радиоволн и создавая отражения, которые искажают характеристики принимаемого радиосигнала. В этой же области солнечный ветер воздействует и на радиационную обстановку, что очень важно, так как именно здесь, на высотах $100\text{—}300 \text{ км}$, осуществляются пилотируемые космические полеты.

В области, прилегающей к поверхности Земли, — тропосфере — солнечный ветер может вызывать малые возмущения давления и температуры, создавать меридиональный поток частиц, усиливать зональные или меридиональные типы циркуляции атмосферы. Его косвенное влияние может сказываться на биологических процессах.

Иначе взаимодействует солнечный ветер с Венерой, которая в отличие от Земли не обладает магнитным полем. В этом случае большую роль играет магнитное поле, принесимое самим солнечным ветром. При взаимодействии с плазмой планеты (ионосферой) межпланетное магнитное поле создает электрические токи, текущие в ионосфере, которые и наводят магнитное поле. Такое индуцированное магнитное поле становится магнитным щитом, тормозящим набегающий солнечный ветер и отклоняющим его. В результате верхняя часть ионосферы Венеры уплотняется и ее граница приближается к поверхности планеты⁴.

Магнитосфера Юпитера, благодаря собственному мощному магнитному полю планеты, весьма протяженна. На днев-

⁴ Подробнее об этом см.: Вайсберг О. Л., Зеленый Л. М. Взаимодействие солнечного ветра с Венерой. — Природа, 1983, № 6, с. 26.

ной стороне планеты она простирается на расстояния 50—100 радиусов Юпитера, а с ночной стороны образуется магнитосферный шлейф, длина которого еще в 100 раз больше. Магнитосфера Юпитера также реагирует на флуктуации солнечного ветра, например ее протяженность на дневной стороне планеты может в 2—3 раза отличаться от среднего значения.

Как это ни странно, столь сильное воздействие со стороны Солнца на планеты и их атмосферу осуществляется агентом, который на первый взгляд незначителен. Действительно, концентрация плазмы солнечного ветра вблизи орбиты Земли составляет в среднем 6 частиц в 1 см^3 , в редких случаях она превышает 50 частиц/ см^3 . Столь же незначительно и магнитное поле, которое несет с собой солнечный ветер: напряженность магнитного поля на тех же расстояниях составляет в среднем $5 \cdot 10^{-5}$ Гс, т. е. в десятки тысяч раз меньше магнитного поля Земли. В окрестностях планет-гигантов параметры солнечного ветра еще намного меньше, но, как показали экспериментальные исследования, его влияние на магнитосферу планет значительно.

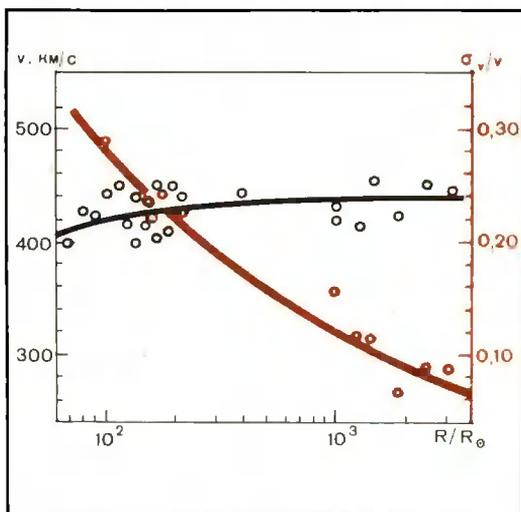
СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР — ОТ ФОТОСФЕРЫ ДО ГРАНИЦ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Итак, основываясь на результатах многочисленных экспериментов и теоретического анализа, мы можем составить достаточно определенную картину зарождения, формирования и течения солнечного ветра в пределах Солнечной системы.

Этот ветер зарождается в короне Солнца, где плотность вещества высока, а скорость движения потоков плазмы незначительна. Различные области Солнца создают потоки плазмы с сильно отличающимися скоростями. Области фотосферы, более яркие на снимках по сравнению с окружающими районами, являются источниками низкоскоростных потоков. Источники высокоскоростных потоков солнечного ветра предоставляются на снимках в виде темных образований; в них концентрация частиц по сравнению с фоном более низкая, поэтому их и назвали «корональными дырами». Скорости спокойного солнечного ветра и ускоренных потоков могут отличаться в 3—5 раз. По мере вращения Солнца наблюдатель, находящийся в фиксированной точке пространства, будет регистрировать набор всех скоростей, которые создаются различными областями Солнца.

В следующий период вращения — через 27 суток — картина повторится.

Область, где формируется солнечный ветер, характеризуется высокой концентрацией заряженных частиц; вблизи фотосферы она составляет 10^{14} частиц/ м^3 , что в 100 раз больше, чем максимальная концентрация электронов в земной ионосфере. С удалением от Солнца концентрация резко — пропорционально шестой степени расстояния — убывает и на удалении $2 R_{\odot}$ принимает значение 10^{12} частиц/ м^3 . На расстояниях свыше $6 R_{\odot}$ скорость спадания



Зависимость средних за период вращения Солнца значений скорости солнечного ветра v и относительных вариаций скорости σ_v/v от расстояния R/R_{\odot} .

концентрации уменьшается. Вблизи орбиты Меркурия эта величина составляет в среднем 10^8 частиц/ м^3 , а ее отклонения от среднего значения достигают 50—60%.

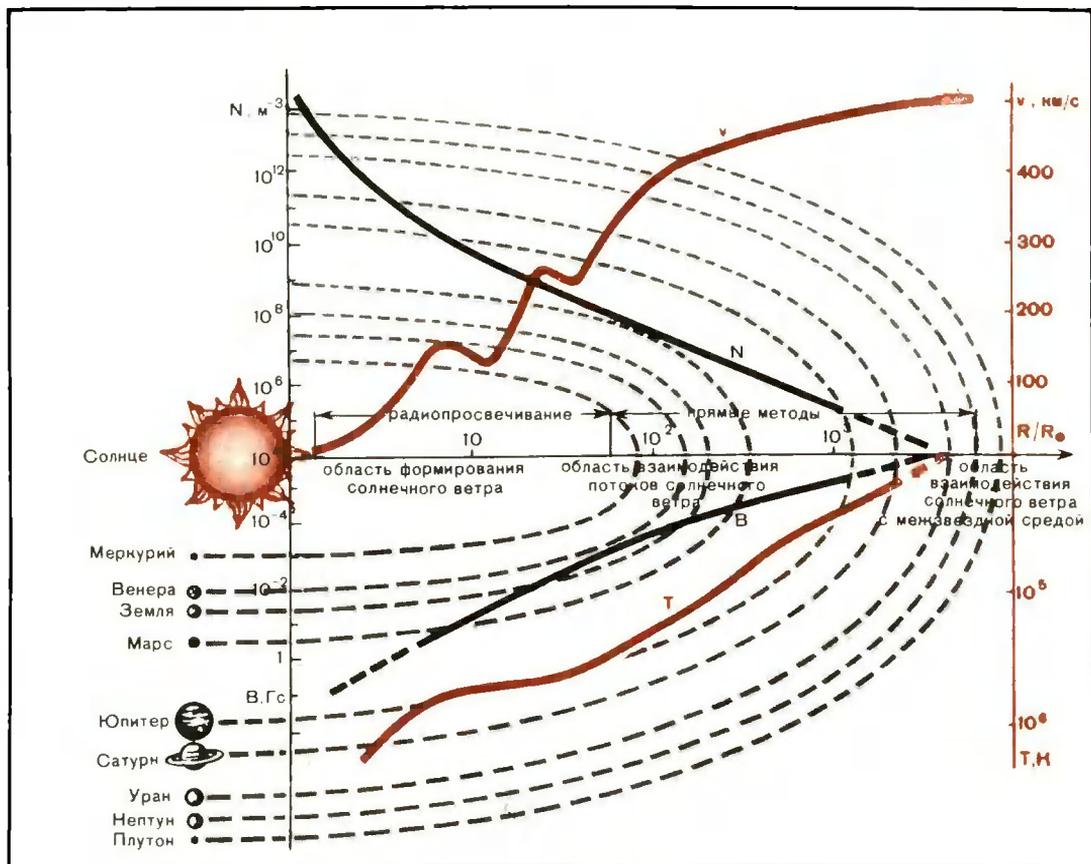
Скорость движения потоков плазмы возрастает от 2,5 км/с на расстоянии $2 R_{\odot}$ до 150—200 км/с при удалении на $10 R_{\odot}$. В области 10 — $15 R_{\odot}$ отмечена особенность в изменении скорости: резкое возрастание, или скачок, величина которого составляет примерно 100 км/с. Подобное явление не предсказывалось теорией Паркера; в настоящее время оно не получило удовлетворительного объяснения. Возможно, имеется и второй скачок скорости в области 40 — $60 R_{\odot}$.

Область, где формируется солнечный ветер, характерна еще и тем, что здесь наблюдается сильный разброс скоростей, достигающий 30—40% от средних значе-

ний. В то же время температура протонов изменяется в этой области незначительно: на нижней границе области она составляет $(1-2) \cdot 10^6$ К и убывает до величины $0,3 \cdot 10^6$ К при удалении на $80 R_{\odot}$. Здесь велика напряженность магнитного поля; при удалении на $5 R_{\odot}$ от этой области она достигает $0,3-0,5$ Гс. Поэтому на малых расстояниях от Солнца магнитное поле контролирует поведение потоков плазмы.

До сих пор речь шла о регулярных свойствах солнечного ветра, его средних ха-

рактеристиках и отклонениях от них из-за изменения активности Солнца. Данные по радиозондированию солнечной короны, выполненному с помощью советских станций «Марс-2,-7», «Венера-10» и американских аппаратов «Пионер-6,-10», «Гелиос-1,-2» и др., свидетельствуют о сильной турбулентности плазмы солнечного ветра. Это означает, что в ней существуют образования, свойства которых сильно отличаются от окружающей среды. Плазма солнечного ветра движется не однородным потоком, в ней рождаются большие и ма-



Изменение параметров солнечного ветра по данным прямых измерений и исследований радиофизическими методами. В верхней части рисунка показано распределение концентрации заряженных частиц N и скорости движения потоков плазмы v ; в нижней части — зависимость температуры протонов T и напряженности магнитного поля B . Расстояния даны в радиусах Солнца R_{\odot} .

лые вихри, которые находятся в непрерывном развитии. Большие вихри распадаются на более мелкие, которые в свою очередь дробятся на еще более мелкие, и так продолжается до тех пор, пока не будут достигнуты минимальные размеры вихрей, называемые внутренним масштабом турбулентности. Размеры наибольших вихрей составляют $1-2$ млн км, в то время как малые имеют протяженность порядка километра.

В неоднородностях (вихрях) концентрация частиц в данный момент времени может быть выше или ниже средней величины. Превышение концентрации частиц в турбулентных образованиях над средними значениями называется степенью неоднородности плазмы. В солнечном ветре эта характеристика обычно составляет 10%, но в интервале расстояний от 10 до 30 R_{\odot} она повышается до 30%, т. е. область ускорения солнечного ветра имеет повышенную турбулентность. Кроме того, в этой же области режим турбулентности, характеризуемый скоростью спадания степени неоднородности с уменьшением размера отдельных неоднородностей, сильно отличается от режима соседних областей. Не исключено, что процессы, происходящие здесь, и определяют свойства солнечного ветра во всем межпланетном пространстве, включая околоземное космическое пространство. Тем актуальнее становится задача детального изучения процессов, происходящих в области формирования солнечного ветра.

Пространство между орбитами Меркурия и Нептуна можно условно назвать областью взаимодействия потоков солнечного ветра. Здесь возникают области сжатия и разрежения, т. е. потоки с высокой и низкой концентрацией частиц. Средние значения концентрации протонов и электронов в интервале от 100 до 5000 R_{\odot} убывают от 10^8 до примерно 10^3 частиц/ m^3 , что характерно для межзвездной среды. Однако на одном и том же расстоянии присутствуют потоки плазмы, концентрация которых в 3—5 раз меньше средней величины, а также потоки с плотностью, в десятки раз превышающей средние значения. Скорость движения потоков плазмы в области взаимодействия несколько возрастает на ее нижней границе (т. е. вблизи орбиты Меркурия), а затем не изменяется. В результате многократного взаимодействия потоков скорости их движения выравниваются. Температура протонов монотонно убывает от $3 \cdot 10^5$ до $(0,5—1) \cdot 10^4$ К. Так как магнитное поле в этой области слабое (10^{-3} Гс на нижней границе и менее 10^{-5} Гс — на верхней), то оно уже не влияет на движение потоков плазмы. Наоборот, потоки солнечного ветра определяют форму магнитного поля — магнитные линии как бы «вморожены» в плазму и движутся вместе с ней.

Большой интерес представляет третья область, где солнечный ветер начинает взаимодействовать с межзвездной средой. Экспериментальные данные, которыми сейчас располагают специалисты по космической физике, позволяют утверждать, что

эта область находится за орбитой Нептуна.

Таким образом, в результате многолетних исследований, выполненных с помощью космических аппаратов, а также путем наземных наблюдений, обнаружено и изучено явление, грандиозное по своим масштабам. Солнечный ветер уносит с поверхности Солнца каждую секунду около миллиона тонн вещества, которое имеет высокую температуру и находится в турбулентном состоянии. Зарождаясь в фотосфере, солнечный ветер устремляется в межпланетное пространство и пронизывает всю Солнечную систему, выходя за орбиту Нептуна.

Благодаря космическим аппаратам, мы знаем многое о свойствах солнечного ветра в области его свободного движения. Меньше известно об особенностях его взаимодействия с различными телами Солнечной системы — планетами, астероидами и кометами. Сейчас мы не можем с полной определенностью указать на причины разогрева солнечной короны до огромных температур — более чем 1 млн градусов, в то время как температура фотосферы составляет только 6 тыс. градусов (а именно это имеет прямое отношение к установлению природы солнечного ветра). Не ясна его роль и в общем балансе массы Солнца. И совсем немного мы можем пока сказать о взаимодействии солнечного ветра с межзвездной средой, о форме и границах гелиосферы — пространства, которое занимает Солнечная система в нашей Галактике. Все эти вопросы еще ждут своего решения.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Хундхаузен А. РАСШИРЕНИЕ КОРОНЫ И СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР. М.: Мир, 1976.

Яковлев О. И. РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ. М.: Сов. радио, 1974.

Коваленко В. А. СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР. М.: Наука, 1983.

БУДУЩЕЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ НАУКИ



В настоящее время геологию трудно воспринимать как единую науку, какой она была два века назад на заре своего существования. Сейчас это некий конгломерат минералогии и геохимии, петрологии и геофизики, стратиграфии и палеонтологии, а также множества других дисциплин, с разных сторон и разными методами изучающих Землю.

Какие же проблемы при всей дифференцированности геологической науки считать ключевыми? Какие направления наиболее перспективны? Какие пути ведут к созданию цельного образа Земли — ее единой теории?

Все эти теоретические вопросы волнуют геологов самых разных специальностей. И один из примеров того — совещание «Будущее геологической науки», состоявшееся в Геологическом институте АН СССР в апреле 1983 г. Совещание проходило в рамках работы проблемной комиссии многостороннего сотрудничества академий наук социалистических стран «Геосинклиальный процесс и становление земной коры».

Некоторые из участников совещания и его гости любезно согласились поделиться с нашими читателями представлениями о том, как на их взгляд будут развиваться в дальнейшем наиболее близкие им отрасли геологии и геологическая наука в целом.

Размышления советских ученых о будущем геологии представляют особый интерес в связи с приближением XXVII сессии Международного геологического конгресса, которая состоится в августе 1984 г. в Москве и станет третьим крупнейшим форумом геологов, проводимым в нашей стране*.

Ближайшие задачи и отдаленные перспективы геологии

Б. С. Соколов

В общей панораме естествознания геология еще не заняла подобающего ей места. Она младшая сестра среди других наук о Земле и жизни. Ее метод и до сих пор в значительной мере продолжает оставаться аналитико-описательным. Двух столетий гигантского труда геологов оказалось недостаточно, чтобы выявить, описать

и систематизировать необозримое поле и хронологический разрез всех ее феноменов. Она только в последние десятилетия стала подходить к абстрактным моделям и к построению общей теории Земли. Вместе с тем она сделала нечто большее: она разрушила представление о хаосе этих феноменов, открыла их глубокий историзм, жесткую последовательность и направленность в развитии. Тем

самым ее синтезы получили прочную генетическую основу, и лишь ради известного удобства и при решении целевых задач она обращается к созданию искусственных систем.

Открытие строгого феноменологического историзма документам в геологии поставило ее на совершенно особое место среди всех других наук естественного цикла, вошло фундаментальным звеном в философию

* В течение всего 1984 г. наиболее важные и яркие статьи в области наук о Земле будут выходить с эмблемой XXVII сессии Международного геологического конгресса.

естествознания и приобрело огромное мировоззренческое значение. Но стимулировало развитие научного геологического знания (фактически с конца XVIII — начала XIX вв.) не это его общее философское значение, а то, что геология оказалась неразрывно связанной с поисками и разработкой месторождений полезных ископаемых, с горнопромышленной деятельностью. Эта связь полностью сохранила свое значение по сей день. Она не позволила геологии встать на путь замкнутого саморазвития, потребовала от геологии совершенствования всех ее методов и превращения в научную прогностическую базу при освоении минерально-сырьевых ресурсов земной коры. Геологические и горные науки при этом резко дифференцировались, но сохранили общее значение фундамента современной мировой экономики и всей цивилизации.

Прогресс в этой области оказался столь закономерным и естественным, что социальное значение геологии стало как бы выпадать из поля зрения людей, в особенности в странах с уже достигнутым высоким уровнем обеспеченности минеральным сырьем. И только критические ситуации типа современного топливно-энергетического кризиса на Западе или глобальная тревога за судьбу окружающей среды (а это и есть современная геологическая среда) заставляют нашу мысль прямо обратиться к геологии, попытаться понять ее основополагающее значение в жизни человеческого общества. В истекающие годы столетия мы стоим на этом пороге и должны с него взглянуть на будущее.

Уже приходилось писать, что понимание геологических основ жизни человечества, развития цивилизации, свойств современной природной среды и самого человека как геологической силы (понятие, введенное еще В. И. Вернадским) должно стать частью обязательного образовательного минимума, элементом воспитания и формирования общего экологического мышления и материалистического мировоззрения. Геологические знания — неотделимая часть этого мышления, и об-



Борис Сергеевич Соколов, академик, академик-секретарь Отделения геологии, геофизики и геохимии АН СССР, председатель Межведомственного стратиграфического комитета, президент Международной палеонтологической ассоциации, президент Всесоюзного палеонтологического общества. Занимается проблемами региональной геологии, стратиграфии и палеонтологии. Лауреат Ленинской премии.

щество уже сейчас должно быть готово воспринять эти знания и овладеть способами их распространения. В неизбежном процессе гуманитаризации науки этим знаниям должно принадлежать такое же большое место, как и биологическому знанию.

Мы должны трезво смотреть на вещи и полностью отдавать себе отчет в том, что геологические ресурсы Земли (нефть, газ, уголь, руды металлов, соли и т. д.) в принципе исчерпаемы, что легкодоступные месторождения уже все учтены и разрабатываются, что нам необходимы новые геологические и технические знания для прогноза на неизведанные глубины и неисследованные блоки литосферы континентов и Мирового океана, что добыча любого полезного ископаемого (включая пресную воду и тепло недр) становится все более дорогим делом. Даже совершенно

новые виды материалов и энергии (прежде всего ядерной) потребуют геологической основы для их создания. Следовательно, крутой виток в развитии и прогрессе геологических наук, в выходе их методов и теории на новые уровни знания, в выдвигании новых идей в технологии, и особенно в аппаратных разработках геологических исследований, становится коренной задачей самого ближайшего будущего.

Широкое использование достижений и методов смежных и родственных наук оказало эффективное влияние на формирование новых геологических дисциплин, совершенствование ее собственных методов. За сравнительно короткое время геология превратилась в связанный комплекс геологических наук. Процесс дифференциации, несомненно, будет продолжаться и дальше, но особое значение должны приобретать теперь все более интеграционные подходы к пониманию и количественным оценкам геологических процессов и явлений, к структурным синтезам геологии. [Химическая, физическая и биологическая формы движения материи нашли в геологическом цикле наук необычайно яркое проявление, став химией, физикой и биологией Земли. Эта триада сформировалась не сразу, но именно она определяет лицо современной синтетической геологии, открывая огромные перспективы развития геохимии, геофизики и геобиологии со специфическими для них математическими моделями. Единство геологической науки не может быть при этом разрушено, так как в самой триаде заключено представление о целостности всей системы.]

Однако мы должны признать, что в настоящее время еще нет единой теории Земли, нет (и, может быть, не будет) универсальной геологической теории, хотя в теоретической геологии идет быстрое формирование важнейших геодинамических концепций. Успехи геологии в огромной мере зависят сейчас от прогресса исследовательской геологической техники. Для наук о веществе Земли, условиях его нахождения и движения необходимо быстрое раз-

витие такой аналитической и измерительной техники, которая может быть использована как в экспериментальных, так и в природных условиях. Земная кора и верхняя мантия все эффективнее «просвечиваются» геофизическими (особенно сейсмическими) методами, и мы с полным основанием ожидаем крупных успехов в этой области. Однако исключительное значение имеет прямое техническое проникновение в недра, возможность получения с больших глубин земной материи, установки на этих глубинах аналитических и измерительных датчиков. Самая глубокая на планете буровая скважина (Кольский п-ов) не достигла еще и 12 км, в то время как космические аппараты давно направились внутрь Солнечной системы. Земная кора на континентах и под океанами должна стать значительно доступнее для получения более точных данных о ее строении и динамике. С очевидной необходимостью геология должна все более космологизироваться, становиться частью общей планетологии. Использование космических средств изучения Земли должно также открыть новые возможности для получения наиболее точных о литосферной динамике.

Стержнем геологии является геохронология. С помощью быстро развивающихся радионуклидных методов ее рамки, по-видимому, раздвинуты до 4,5 млрд лет. Но шкала геологического времени почти на всем этом гигантском отрезке документируется эволюцией живых систем (от цианобактерий до высших организмов) и физических процессов. И в этом заключается главное ее научно-теоретическое и прикладное значение. Геохронологический синтез земных биологических и геологических процессов сулит важнейшие открытия для всего естествознания, включая космологию, поскольку Земля является единственной планетой в Солнечной системе, обладающей стратисферой водно-осадочного происхождения, которая непрерывно формируется на протяжении этих миллиардов лет и которая конденсирует в себе весь биосферный процесс на Земле и его связь с космическими событиями. Мы хорошо знаем верхнюю часть стратисферы — фанерозой (около 650 млн лет вместе с вендом), но предстоит огромная работа по изучению всего докембрийского этапа истории Земли и его важнейших рудных ресурсов. Докембрийские тома геологической истории нашей

планеты уже открыты, но их надо суметь прочесть, понимая, что на ранней стадии эволюции примитивная Земля стояла ближе всего к планетным телам Солнечной системы.

Ближайшие же неотложные задачи геологических наук — достижение нового уровня знаний о закономерностях формирования и размещения в земной коре месторождений всех видов полезных ископаемых, комплексное крупномасштабное изучение континентов, шельфовых зон и дна Мирового океана, совершенствование геологических моделей, глубинная корреляция неоднородностей в строении литосферы континентов (геологически самой информативной!) и океанического ложа, создание новых технических и аппаратурных средств, способных качественно и количественно повысить всю информацию о состоянии, динамике и ресурсах земных недр. На этом пути теоретическая геология имеет все основания приобрести новый прогностический потенциал, столь важный для жизни и судьбы человечества.

Предстоит большая работа по геологии океанов

Ю. М. Пушаровский

Из некоторых научно-популярных и даже научных публикаций можно вынести впечатление, что основные проблемы геологии океанов уже решены. Но это далеко от истины. Да и возможно ли, чтобы за те 3—4 десятилетия, что прошли с начала систематических геоло-

гических исследований в океанских областях, были раскрыты особенности строения, происхождения и геологической истории 70% поверхности Земли? Камень преткновения — вещественный состав и строение глубинных зон земной коры и верхней мантии в океанских областях, о которых еще очень мало данных. Именно это обстоятельство служит причиной зыбкости

и уязвимости современных представлений об образовании океанов и их развитии. Тем не менее без решения этих вопросов нельзя представить себе геологию будущего — науку с мощной теоретической базой по всем кардинальным проблемам строения нашей планеты.

В основе современных исследований по проблеме происхождения океанов лежит изу-

чение океанических базальтов. За последние годы выяснилось, что эти очень широко распространенные породы не слагают единой магматической провинции, как полагали прежде, а представляют собой сложное сочетание обширных базальтовых полей, каждое из которых характеризуется собственными петрохимическими и геохимическими чертами. Особенно чувствительными индикаторами неоднородности базальтов служат изотопы стронция, неодмия, свинца и редкоземельные элементы.

Хотя контуры базальтовых провинций в океанах еще не очерчены, само их существование уже не вызывает сомнений. Отсюда вполне правомерной представляется рабочая гипотеза о латеральной неоднородности материала мантии. Если это положение будет доказано, нетрудно представить себе, какие последствия будет оно иметь для создания общей теории генезиса и развития земных оболочек, а в более узком смысле — для понимания специфики магматизма, металлогении и тектоники океанов.

В дальнейшем, помимо базальтов, под тем же углом зрения необходимо исследовать



Юрий Михайлович Пушаровский, член-корреспондент АН СССР, профессор, заведующий лабораторией тектоники приокеанических зон Геологического института АН СССР, председатель Междуведомственного тектонического комитета. Занимается проблемами общей и региональной тектоники, геологии океанов. Лауреат государственной премии СССР. Заместитель главного редактора журнала «Природа».

габбро, перидотиты и другие глубоко залегающие магматические породы. Базальты оказались лучше изучены прежде всего потому, что в эти породы, хотя и не очень глубоко (на сотни метров), проникли буровые скважины. Кроме того, они чаще попадают в драги, опробуются со спускаемых на дно аппаратов и даже выходят на поверхность на океанических островах. Глубинные же породы пока извлекают лишь драгами. Но и при этом примитивном способе опробования, когда элемент случайности очень велик, все же удалось составить общее представление о последовательности пород в разрезе океанической коры, о чем, кстати, уже не раз писала «Природа». Однако имеющиеся в нашем распоряжении сведения пока остаются фрагментарными. И хотя в будущем техника глубоководного бурения, несомненно, усовершенствуется, следует думать о принципиально новых способах проникновения в глубокие недра под океанами. Ведь геология постольку остается геологией, поскольку она имеет дело с горными породами, будь то глубинные коровые породы или даже породы мантии.

Перспективы геологии — в изучении планет

В. Л. Барсуков

Изучая Землю, мы не должны забывать, что имеем дело лишь с одним представителем планет Солнечной системы. Об этом писал еще В. И. Вернадский, и он, безусловно, прав, потому что не все геологические процессы могут быть вскрыты на Земле, не все может быть понято в рам-

ках нашей планеты, потому что зачастую просто невозможно распознать все стороны какого-то явления, не сравнивая его с другим явлением.

Такое сравнение прежде всего позволяет разобраться в самых ранних стадиях эволюции нашей планеты. Ведь не секрет, что довольно хорошо мы знаем Землю лишь начиная с палеозоя, немного знаем докембрийскую историю, охваты-

вающую огромный интервал времени, и почти ничего не знаем об истории Земли до рубежа 3,8 млрд лет. Земля же, как и все другие планеты Солнечной системы, образовалась 4,6 млрд лет назад. Таким образом, первый миллиард лет в истории Земли мы не в состоянии изучать, не пользуясь данными сравнительной планетологии. На поверхности Земли мы не находим пород древнее

3,8 млрд лет: либо они сильно преобразованы, либо погребены, во всяком случае пока мы полностью лишены возможности их исследовать. Поэтому важнейшим источником информации о ранних стадиях развития Земли служат сейчас и будут служить в дальнейшем Луна и планеты земной группы — Марс, Венера и в какой-то мере Меркурий.

Что же нам дало изучение других планет? Мне представляется, что успехи тут несомненны. Всего лишь 15—20 лет назад, до появления сравнительной планетологии, историю Земли рассматривали как некий эволюционно-циклический процесс, в котором периоды относительного спокойствия сменялись активными периодами, когда процветал магматизм, вулканизм, горообразование. Но изучение Луны и других близких к Земле планетных тел показало, что до рубежа 3,8 млрд лет эволюция носила совершенно иной характер. Дело в том, что очень многие планетарные процессы, в том числе и геологические, определяются размерами планетного тела, расстоянием планеты от Солнца и составом вещества, из которого сформировалась данная планета. Прото вещество не было гомогенным, и та его часть, из которой возник, допустим, Меркурий, существенно отличается от вещества, из которого сформировалась Земля. Это, естественно, наложило отпечаток на все последующие процессы. И еще один важный, на мой взгляд, итог сравнительно-планетологических исследований — это открытие явления интенсивной бомбардировки поверхности планетных тел очень крупными метеоритами (планетезималиями). Бомбардировка эта пришлась на самый начальный период жизни планет и стала важным этапом их формирования. Причем интенсивность бомбардировки была столь велика, что она приводила к возникновению сначала мелких, а затем и крупных очагов плавления, сливавшихся в приповерхностный общепланетарный магматический океан. И именно из этого ударного расплавленного бассейна в процессе его дифференциации родилась первичная планетарная кора. Впервые это уда-



Валерий Леонидович Барсуков, член-корреспондент АН СССР, директор Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР, президент Международной ассоциации по геохимии и космохимии. Специалист в области космохимии, геохимии океана, геологии и геохимии рудных месторождений. Лауреат государственной премии СССР.

лось выяснить на примере Луны. Но планетное тело Луны значительно меньше земного, тепловая история у них разная, способность удерживать летучие компоненты разная; следовательно, прямые аналогии невозможны, зато возможно принципиальное сравнение, тем более что большие планеты в процессе их формирования проходили через те же стадии, что и тела меньших размеров. И еще одно наблюдение. Сравнивая Луну, Марс, Венеру и Землю, мы видим, как по мере увеличения размера и массы планетных тел возрастают сложность, разнообразие и длительность проявления на них тектонических и магматических процессов. А это позволяет надеяться, что сравнительная планетология поможет нам разобраться в причинах и механизме этих сложных явлений.

Какими методами изучают планеты сейчас и как их будут исследовать в дальнейшем?

Наиболее часто в настоящее время используется дистанционно-морфологический метод, который дает важную информацию о строении поверхности других планет. Но уже сейчас мы им не ограничиваемся. Засняя поверхность Луны, мы доставили лунный материал на Землю и стали изучать его здесь. Эта тенденция сохранится и в дальнейшем, хотя в будущем отбор проб, по-видимому, станет осуществляться как на основе морфологических, так и геохимических признаков.

Итак, о Луне мы знаем далеко не все и будем продолжать ее исследование.

В последние годы большой упор делается на изучение Венеры, и он, на мой взгляд, вполне оправдан. Это наиболее близкая по размерам и другим характеристикам «соседка» Земли, на которой видны некие аналоги океанического дна и континентов. Мы видим на Венере и мощные горные системы типа Кордильер. Исследуя Венеру, мы не только получаем ее структурно-морфологические характеристики, но и стремимся получить максимально полный химический анализ ее пород. Такие работы мы уже начали выполнять во время полетов станции «Венера-13» и «Венера-14». Мы их продолжим и в дальнейшем.

Но как все-таки можно получить сведения о составе других планет, не доставляя вещество на Землю? Способы здесь самые разные, и диктуются они условиями работы на той или иной планете. Так, на Луне, которая лишена атмосферы, химический и даже минеральный состав можно изучать непосредственно с орбиты высотой порядка 100 км. Информацию о химическом составе пород этой планеты можно получить, регистрируя вторичное γ -излучение от ее поверхности, находящейся под воздействием солнечного ветра и космических лучей. А по оптическим спектрам, также полученным непосредственно с орбиты, мы можем судить о минеральном составе поверхности Луны. Но все эти методы хороши для планет, лишенных атмосферы.

С Венерой дело обстоит иначе. Поэтому для изучения со-

става ее пород нам пришлось изготовить специальное буровое устройство, «заставить» работать которое на поверхности Венеры (при температуре 500°C и давлении 100 атм) было достаточно сложно. Сложно даже чисто технически, не говоря уже о том, что давление внутри рентгенофлуоресцентного прибора, анализировавшего образец грунта, не должно было превышать сотые доли атмосферы.

Чтобы подвести итог, вспомню известные слова Вернадского о том, что геохимия становится частью космохимии. Хотя, на мой взгляд, она всегда была этой частью. Другое дело, что прежде методы получения информации о разных планетах были принципиально иными. Раньше все сведения о других планетах добывались исключительно астрофизическими методами. Теперь же, когда мы

вступили в космический век, мы имеем возможность непосредственно изучать строение и состав окружающих нас планет. А это, в свою очередь, ведет нас к все более глубокому пониманию особенностей строения и геологической истории нашей Земли.

Возрастет роль глобальной петрологии...

Н. Л. Добрецов

Перспективность того или иного конкретного направления в науке зависит, на мой взгляд, от того, лежит ли оно в русле главного ее направления. Если да, то это частное направление непременно будет развиваться. Если же оно представляет собой боковую ветвь, то никакие, пусть даже талантливые, работы или чрезвычайные организационные меры не помогут ему внести существенный вклад в общее развитие науки. Разумеется, правильно определить генеральное направление развития геологической науки — задача трудная, поскольку геология, как и другие естественные науки, очень дифференцировалась, и не исключено, что каждый специалист будет преувеличивать значение своей отрасли. Но с каких бы позиций ни оценивать генеральную тенденцию развития геологии, невозможно умолчать, во-первых, об исследовании геологии океанического дна и переходе к глобальному охвату геологических явлений в масштабе всей Земли, а во-вторых, об изучении Луны и других планет земной группы и появлении сравнительной планетологии.



Николай Леонтьевич Добрецов, доктор геолого-минералогических наук, директор Геологического института Бурятского филиала СО АН СССР, заместитель председателя Петрографического комитета. Специалист в области глобальной петрологии и метаморфизма. Лауреат Ленинской премии.

вый план выдвигается комплекс методов, принадлежащих геохимии, минералогии и петрологии. Остановлюсь подробнее на наиболее близких мне петрологических методах и петрологическом подходе к изучению Земли.

Петрология и раньше рассматривалась как геологическая отрасль, способная объединить данные геологии, геохимии и минералогии и на этой основе построить вероятную физико-химическую модель процесса. Но использовались петрология и петрологические методы главным образом применительно к отдельным породам или группам пород. Например, многие годы обсуждалась вероятная модель образования гранитов — наиболее распространенных пород континентальной земной коры. В последние годы петрология все чаще применяется для создания моделей геологических процессов глобального характера: например, происхождения «континентальной» и «океанической» коры Луны или базальтовой коры океанов Земли, или ранней протоконтинентальной коры. Петрологические модели используются и для решения вопросов о происхождении Земли в це-

Как в том, так и в другом случае (и при изучении других планет, и при изучении дна Мирового океана) на пер-

лом, выделении в ней ядра, для сравнения динамики этого процесса на Земле, Венере и других планетах. При этом в большинстве глобальных моделей на первое место выдвигаются базальты, а не граниты, поскольку именно они составляют львиную долю внешних оболочек Земли, Луны и, вероятно, Марса и Венеры.

Уже давно петрология разделилась на две ветви, которые вслед за В. С. Соболевым можно назвать геологической (формационной) и минералогической петрологией. Мой опыт работы в той и другой области убеждает меня в том, что формационная петрология весьма эффективна при картировании комплексов горных пород, и в первую очередь в континентальных сегментах Земли, минералогическая же петрология может иметь и более широкое применение. Но в последние годы наблюдается отчетливая тенденция слияния формационной и минералогической петрологии. Особенно это заметно в лучших петрологических работах. Такая тенденция оправдана, поскольку наиболее точные и эффективные петрологические модели можно построить, только используя и геологическую, и минералого-геохимическую информацию.

И еще одна тенденция представляется мне очень важной. Она заключается во все более тесном взаимодействии, а порой и слиянии петрологии и «большой геофизики», т. е. физики Земли. Геофизическая лаборатория института Карнеги в Вашингтоне проводит экспериментальные исследования, которые, с нашей точки зрения, являются в основном петрологическими. Геофизик и геохимик А. Рингауд публикует работу «Состав и петрология мантии». В обзорных публикациях по петрологии широко используются обобщающие геофизические работы и модели, а в трудах по геофизике все чаще встречается петрологическая информация.

Из всего сказанного следует вывод, что именно петрология может оказаться той отраслью геологической науки, в которой наиболее естественно сочетаются разные направления геологии и которая лучше всего вписывается в генеральную тенденцию ее развития. Конечно, в этом заявлении кому-то могут послышаться нотки завышенной оценки своей отрасли, об опасности которой я говорил выше, но имеются и объективные доводы в его пользу. Бесспорно, например, что геологическая петрология

тесно смыкается с геологией и тектоникой и использует вообще с ними методы, что минералогическая петрология основана на минералогической и частично на геохимической информации, что петрология широко использует эксперимент и математические расчеты и тесно переплетается с физикой Земли.

Наблюдающееся в последние годы возрастание относительной роли «вещественных» методов при изучении Земли и других планет, тесное слияние петрологии с геохимией и минералогией, а также направленность петрологии на построение физико-химических задач и физических моделей могут, на мой взгляд, определить ее центральное положение в ряду геологических наук. Эту же тенденцию можно проследить и в более отдаленной перспективе. Неизбежное в будущем превращение геологии в планетологию и часть космологии приведет к возрастанию роли петрологии, ее тесному взаимодействию с геофизикой, на базе которых станет наконец возможным построение общей теории Земли и других планет.

Нужна теоретическая геология как некоторая консолидированная концепция

С. В. Мейен

Науковеды давно говорят о том, что экстенсивное развитие науки, выражающееся в постоянном росте ассигнований и числа научных работников, не может быть вечным. Всему есть разумные пределы, которые мы уже начинаем ощущать. Поэтому в будущем мы

должны ориентироваться на интенсификацию исследований. Она может проявляться в их более совершенной организации, применении новой исследовательской техники, обработке данных с помощью ЭВМ и т. д. Эти пути интенсификации исследований достаточно широко обсуждаются, и их целесообразность нет смысла оспаривать, хотя здесь пред-

стоит преодолеть серьезные психологические барьеры. Фокусировка исследований всегда сопряжена со сменой их тематики для многих участников, а к новым хитроумным приборам и ЭВМ без специальной подготовки страшно подходить, вот и появляется желание оправдать работу по старинке.

Но как ни важна интенсификация исследований, она

не затрагивает существа самой геологии как науки. Любые организационно-технические мероприятия осмыслены лишь в рамках общей стратегии, а стратегия исследования в конечном счете зависит от теоретического знания. Теоретическое знание должно опережать конкретные исследования, но для этого оно должно быть развитым. Кроме того, если речь идет о такой многокомпонентной науке, как геология, это знание должно быть достаточно единым, консолидированным. Обладает ли геология таким знанием, существует ли теоретическая геология как некоторая консолидированная концепция, способная направлять весь комплекс геологических исследований? Я убежден, что этого нет. Лучшее тому доказательство — повседневная жизнь исследовательских учреждений, их сотрудников. Темы исследований, публикаций, конференций, докладов, диссертаций все больше сужаются. Соответственно сужается и тот теоретический контекст, в котором проходят исследования, а от этого сама работа порою превращается в самоцель. Мы начинаем забывать, ради чего ставились исследования, и становимся рабами их локальной логики. Я мог бы показать это на примере наиболее близкой мне стратиграфии, где к некоторым вопросам подходят так, как будто их решение — самоцель (наверное, по этой причине лишь единичные границы в международной геохронологической шкале приняты как стандартные). Между тем все яснее ощущается тесная связь проблем, обсуждаемых в разных дисциплинах. От точных стратиграфических корреляций завязят тектонические реконструкции, которые, в свою очередь, детерминируют палеоклиматические модели, а эти, как теперь выясняется, могут служить теоретической предпосылкой стратиграфических исследований. Складываются круги проблем, которые взаимно освещают друг друга. Именно эта связанность проблем и требует консолидированного теоретического знания. Как следствие возникают пограничные



Сергей Викторович Мейен, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории палеофлористики Геологического института АН СССР. Занимается вопросами палеофлористики, стратиграфии палеозоя, а также теоретическими вопросами геологии.

исследования, но, как давно заметил наш философ Н. Ф. Овчинников, новые направления на стыке дисциплин (как геофизика на стыке физики и геологии) лишь множат число дисциплин. «Стыковые» дисциплины отстаивают право на самостоятельность, в том числе концептуальную и научно-организационную, работают над темами, интересными прежде всего для них самих.

Предпринимаются попытки преодолеть дифференцированность знания путем разработки комплексных программ, таких, как программа «Литосфера», и многие другие. Значение таких программ очевидно, но их эффективность могла бы быть куда более значительной, если бы они подкреплялись синтезом дисциплин на глубинных теоретических уровнях. Сейчас этот синтез подменяется заимствованием готовых нужных сведений из смежных дисциплин. Так, стратиграф может поинтересоваться у палеоклиматолога, как похолодание в высокие широ-

тах скажется на климате экваториального пояса, и использовать полученные сведения для корреляции разрезов. Палеоклиматолог может посоветоваться со стратиграфом по поводу сопоставления климатических эпизодов на разных материках и включить эти сведения в свою реконструкцию. Но от этого «информационного рынка», даже если он преобразуется в «информационную систему», еще далеко до подлинного синтеза знания. Синтез будет осуществляться лишь при видоизменении и интеграции используемых понятий, когда, если продолжать тот же пример, стратиграф увидит в стратиграфических границах палеоклиматические смены (хотя и не только их), научится мыслить в палеоклиматических понятиях, будет приспосабливать к ним свои понятия. Аналогичные изменения понятий потребуются и палеоклиматологу, которому придется осмысливать, скажем, что такое одновременность в стратиграфии. То же можно сказать и об интеграции других геологических дисциплин. Их взаимодействие, пройдя стадию «информационной системы», должно перерасти в единую концептуальную (понятийную, теоретическую, методологическую) систему.

Я далеко не уверен, что так все и произойдет. Сказанное — не прогноз, а, скорее, пожелание, может быть, даже некий идеал. Идеалы вообще недостижимы «по определению», они служат ориентиром, а не пунктом назначения. Я не уверен и в том, что этот идеал будет принят, слишком уж он далек от нынешних повседневных забот. Однако смена представлений о том, что каждому из нас следует делать, должна рано или поздно спуститься из сферы науковедения в нашу повседневную научную жизнь. Рано или поздно в геологии (и вообще науке) произойдет нечто похожее с тем, что произошло с экологией. Могли ли экологи-теоретики представить еще 30—40 лет назад, что в наше время экологическая неграмотность станет одним из важных критериев экономической, а по-

рой и политической некомпетентности?

Общий же смысл того идеала, который я имею в виду, был так сформулирован в одной из статей, написанных мной совместно с Б. С. Соколо-

вым: «Пока не создана общая теория Земли, мы останемся пассивными или неразумно активными компонентами ноосферы — сферы разума и не перейдем к тому, что можно назвать ноократией — властью

разума, которая только и сможет с минимальным риском и максимальной пользой для человечества разрешать наиболее сложные коллизии общества и природы».

Геотектонические модели следует строить на реальной основе

М. Г. Леонов

Вопрос, в чем заключается будущее любой науки, чрезвычайно многопланов. Речь может идти и об общих методологических принципах, и о наиболее актуальных проблемах, и о выборе генерального пути развития той или иной науки, и о чисто практических ее аспектах. Тем не менее применительно к теоретической геологии дать самый общий ответ достаточно легко: будущее геологии связано с решением ее главной задачи — созданием общей теории Земли. К сожалению, несмотря на колоссальный объем накопленных геологической наукой знаний, до сих пор не существует единого мнения ни об общих закономерностях развития вещества и структуры Земли, ни о механизме, приводящем к структурно-вещественным преобразованиям земной коры, мантии и ядра.

В современной геотектонике, занимающейся наиболее общими вопросами развития земной коры и верхней мантии, существуют две пары феноменологических (а в значительной степени — чисто умозрительных) концепций, и в каждой из пар одна концепция исключает или, по крайней мере, сильно ограничивает сферу применения другой. Первая пара — это «фиксизм» и «мобилизм», вторая — «геосинклиальная теория» и гипотеза «тектоники литосферных плит». Основу первой пары концепций составляет представление о главен-



Михаил Георгиевич Леонов, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Геологического института АН СССР, главный ученый секретарь и председатель советской части Проблемной комиссии многостороннего сотрудничества академий наук социалистических стран «Геосинклиальный процесс и становление земной коры». Занимается вопросами общей геотектоники.

ствующей направленности движения блоков земной коры и вещества мантии. Во второй паре существенная (а в геосинклиальной теории — главная) роль отводится процессам вещественного преобразования горных масс. Но если геосинклиальная теория по своей сути нейтральна относительно дилеммы

«фиксизм» — «мобилизм», то «тектоника плит» не может обойтись без признания главенствующей роли горизонтального перемещения блоков (плит) земной коры и вещества мантии. Каждый геолог придерживается одной из перечисленных концепций в том или ином ее выражении. И это естественно. Но какая из концепций наиболее перспективна для развития геологических знаний, какая из них займет доминирующее положение в дальнейшем? Вопрос этот принципиальный, поскольку от выбора теоретической концепции во многом зависит успешное развитие любой науки, и геология здесь не исключение.

Каждая из концепций содержит в себе рациональное зерно и базируется на сумме фактов и закономерностей, отражающих природные процессы. Да и в самом существовании различных теоретических течений нет ничего плохого. Беда состоит в том, что любая из существующих сейчас геотектонических концепций неизбежно приводит исследователей к признанию исключительности какого-то одного механизма развития верхних оболочек Земли (по крайней мере, коры и верхней мантии), а также к признанию зависимости вещественных и структурных преобразований в коре от аналогичных процессов, происходящих в мантии. Однако в настоящее время накоплено много свидетельств, что в земной коре могут идти особые, только ей свойственные процессы, при-

водящие к весьма значительным, а то и полным структурно-вещественным преобразованиям. Иначе говоря, многие изменения в составе и структуре земной коры не отражают тех процессов, которые происходят в более глубоких оболочках Земли, или же отражают их совершенно неожиданным для нас образом. Косвенным подтверждением этому служат существующие в недрах Земли концентрические поверхности раздела — поверхности Мохоровичича, астеносферного слоя, границы верхней и нижней мантии. Своим существованием они, вероятно, фиксируют не только оболочки различного вещественного состава и структуры, но и области проявления

существенно, а может быть, и принципиально различных геологических процессов. Отсюда следует, что столь широко проводимые в последние годы теоретические (расчетные) геомеханические построения, пытающиеся найти общую причину тектогенеза (модели расширяющейся Земли, пульсационная модель, модель конвективных ячеек, модель энерго-массопотоков и др.), не могут быть в настоящее время проверены суммой прямых наблюдений, которые подтвердили бы причинную зависимость структурно-вещественных преобразований в земной коре от теоретически возможного механизма той или иной модели.

Таким образом, мне пред-

ставляется, что ни одна из существующих сейчас концепций не может в своем настоящем виде служить теоретической базой геологических исследований. Исходя из этого, следует предположить, что успешное развитие геологической науки будет связано прежде всего с построением такой модели развития тектосферы (а в дальнейшем и Земли в целом), которая будет основана на реально наблюдаемых фактах и закономерностях и может быть проверена прямыми наблюдениями на уровне земной коры.

Теоретическая геология в перспективе ближайшего десятилетия

В. Е. Хайн

В какой мере можно прогнозировать развитие науки? Дело в том, что наука развивается достаточно своеобразно: она претерпевает длительные этапы эволюционного развития, а затем испытывает некоторые скачки, которые принято называть революциями в науке. Эволюционное развитие идет по накатанным рельсам — возникают совершенно определенные методики, совершенствуются определенные концепции, — таким образом наука распространяется вширь, простирая заранее сформулированные идеи на все новые объекты. Такое спокойное эволюционное развитие науки можно и нужно прогнозировать. И на этом проторенном пути, конечно, могут быть получены интересные результаты, закреплены определенные достижения. Но главное в развитии науки все же заключается в спонтанных открытиях, которые коренным образом изменяют существующие представления,



Виктор Ефимович Хайн, член-корреспондент АН СССР, профессор Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, заместитель председателя Комиссии по международным тектоническим картам. Специалист по общей и региональной геотектонике. Член редколлегии журнала «Природа».

порождают совершенно новые направления в науке, заставляют по-новому взглянуть на привычные, устоявшиеся вещи. Вот их-то, такие спонтанные открытия, прогнозировать принципиально невозможно.

Скажем, кто мог в конце XIX в. предвидеть открытие радиоактивности? Или кто мог предвидеть, что это открытие, сделанное физиками, коренным образом перевернет представления геологов: заставит их отказаться от контракционной гипотезы, откроет путь к определению абсолютного возраста горных пород, положит начало новой науке — радиогеологии? Это предвидеть было совершенно невозможно. Так же как и открытие в 50-х гг. нашего столетия явления остаточного магнетизма горных пород и того, что этот палеомагнетизм приведет в конце концов к мобилизму (хотя ученые, которые начинали эту работу, стояли прочно на фиксистских позициях), явления инверсий магнитного поля, открытие магнитных аномалий в океанах — все это

было, пожалуй, совершенно неожиданно.

И если брать совсем недавнее время, то бурение сверхглубоких скважин — Кольской и Саатлинской — уже заставило нас совершенно по-другому относиться к интерпретации геофизических данных о строении земной коры и не принимать, как это было раньше, слои с определенными скоростями сейсмических волн за горизонты, сложенные горными породами совершенно определенного состава и выдержанные на значительных площадях.

Мы, конечно, надеемся, что открытия такого рода будут делаться и в будущем, поэтому задача прогноза науки становится чрезвычайно трудной. Мне кажется, что рассуждать можно в лучшем случае в перспективе ближайшего десятилетия, ибо частота открытий такова, что в более долгий срок — в перспективе до 2000-го года, придется коренным образом пересмотреть прежние концепции.

Итак, ограничим себя рамками ближайших десяти лет. Конечно же трудно рассчитывать, что за этот короткий срок будет решена основная задача теоретической геологии — будет создана общая теория Земли, хотя быстрый прогресс наук о Земле позволяет надеяться, что произойдет существенное продвижение в ее направлении. Следует ожидать, что господствующая ныне парадигма тектоники плит будет заменена более широкой концепцией, включающей тектони-

ку плит как частный элемент.

Несмотря на то что данные геологического картирования по-прежнему будут играть большую роль в накоплении новой информации, основной вклад в фактологический арсенал наук о Земле будет внесен новыми методами исследования — геофизическими, изотопно-геохимическими, космогеологическими и другими.

В ближайшие годы данные радиоастрономии и оптических наблюдений со спутников принесут ответ на вопрос, происходит ли в настоящее время относительное перемещение континентов. Положительные результаты этого эксперимента окончательно утвердят представления мобилизма, сыграв ту же роль, что и опыт Майкельсона — Морли в утверждении теории относительности. Негативные результаты значительно укрепят позиции фиксистов, но не опровергнут полностью мобилизм, так как будут означать лишь то, что в данный момент крупных горизонтальных перемещений не происходит. Дальнейшие, более точные, чем в настоящее время, измерения силы тяжести принесут уточнение сведений о периодических и направленных изменениях скорости вращения Земли и ее объема, что также существенно для создания общей теории Земли.

Можно надеяться, что в течение ближайших десяти лет глубоководное бурение в океанах достигнет поверхности Мохо и даст окончательный ответ на вопрос о составе и строении океанической коры.

Сверхглубокое бурение на континентах осветит строение и состав осадочного и верхней части консолидированного слоев континентальной коры. Это приведет к тому, что в сочетании с данными взрывной сейсмологии будет выяснена деформационная структура верхней части континентальной коры и установлены масштабы горизонтальных перемещений в ее пределах как в складчатых поясах, так и в фундаменте платформ. По-видимому, эти масштабы окажутся настолько значительными, что потребуют создания новых моделей деформации подвижных поясов Земли.

Существенный прогресс будет достигнут и в изучении древнейших пород земной коры (их состава, возраста, тектоники) и соответственно в расшифровке ранних стадий эволюции земной коры. Этому же будет способствовать получение новых данных о составе пород коры Венеры и Марса.

Наиболее важное значение в ближайшие годы будет иметь создание новых геофизических методов, способных уточнить реологические свойства верхней и нижней мантии, выявить или установить отсутствие перемещения (течения) ее вещества и тем самым ввести ограничения в выбор моделей глубинных процессов, происходящих в мантии. И, конечно, не исключены сюрпризы, могущие и в ближайшие годы коренным образом изменить наши представления.

Публикацию подготовила
Л. Д. Майорова.

К СВЕДЕНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ

В ближайших номерах 1984 г. журнал «Природа» планирует опубликовать следующие статьи по наукам о Земле:

Лавров Н. П. РЕСУРСЫ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ.

Хаин В. Е. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ МОБИЛИЗМА.

Ярошевский А. А. ГЕОХИМИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ И ЭВОЛЮЦИЯ БИОСФЕРЫ.

Соколов Б. С. ВЕНДСКИЙ ПЕРИОД В ИСТОРИИ ЗЕМЛИ.

Парадокс иммунитета: «чужое» в «своем»

А. С. Шевелев



Абрам Саулович Шевелев, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой микробиологии Смоленского медицинского института. Занимается вопросами трансплантационной и общей иммунологии. В последние годы изучает связь реакции «трансплантат против хозяина» с развитием опухолей иммунокомпетентных органов при беременности. Монографии: Реакция «трансплантат против хозяина» и трансплантационная болезнь. М., 1976; Противоречия иммунологии. М., 1978. Неоднократно выступал в «Природе» (1960, № 4; 1964, № 11; 1977, № 4).

ГОМЕОСТАЗ И НАДЗОР

Изучение теоретических проблем иммунологии, несомненно, имеет фундаментальное значение для развития современной биологии и медицины. К этим проблемам относятся, в частности, иммунологический гомеостаз и иммунологический надзор. Под иммунологическим гомеостазом принято понимать способность организма сохранять постоянство внутренней среды при помощи тех или иных иммунологических механизмов.

На заре развития иммунологии были известны только два участника иммунной защиты: макрофаги — большие клетки, способные захватывать и переваривать чужеродные частицы и клетки, а также перерабатывать и концентрировать на своей поверхности разные чужеродные агенты, антигены, и антитела — специфические белки (сейчас их принято называть иммуноглобулинами), нейтрализующие чужеродные агенты. В дальнейшем стало очевидно, что чужеродными для иммунной системы могут быть не только экзогенные, т. е. внешние по отношению к организму антигены, но и в определенных условиях различные клетки собственного тела — аутоантигены. В том случае, когда иммунная система отторгает клетки собственного организма или вырабатывает

антитела к внутриклеточным соединениям, возникает иммунологический конфликт — так называемое аутоиммунное заболевание.

Согласно современным представлениям, главными клетками иммунной системы являются лимфоциты — свободно живущие клетки с большим круглым ядром и узким ободком цитоплазмы. Они находятся в лимфоидных органах — тимусе, селезенке, лимфатических узлах, лимфоидной ткани кишечника, а также в головном мозге и крови. Лимфоциты (они составляют 30% всех белых клеток крови) обладают удивительными особенностями: во-первых, большая их часть постоянно рециркулирует, поступая из лимфоидных органов в кровь и обратно; во-вторых, на поверхности лимфоцитов имеются особые молекулы — рецепторы, способные специфически соединяться с тем или иным антигеном.

Лимфоциты неоднородны, их подразделяют на две основные группы — Т- и В-лимфоциты¹. Хотя возникают они от одного и того же предшественника — стволовой лимфоидной клетки костного мозга, дальнейшая их судьба различна,

¹ Подробнее см.: Галактионов В. Г. Дарвиновский принцип в иммунологии.— Природа, 1980, № 8, с. 28.

точно так же как и тип иммунологической реакции. Если клетка-предшественник остается в костном мозге, то в конце концов она созревает до В-лимфоцита и дальше дает клетки, синтезирующие иммуноглобулины. Попав же в тимус (вилочковую железу), стволовая лимфоидная клетка превращается в Т-лимфоцит, который осуществляет клеточный тип иммунной реакции, прежде всего отторжение трансплантата.

В свою очередь и те и другие лимфоциты тоже неоднородны. Так Т-лимфоциты состоят из разных клеточных популяций: Т-киллеров (от англ. *killer* — убийца), способных убивать чужеродные клетки; Т-хелперов (от англ. *helper* — помощник), помогающих Т- и В-клеткам осуществлять иммунный ответ, и Т-супрессоров, угнетающих Т- и В-лимфоциты. В-лимфоциты тоже дифференцируются при созревании, давая, по крайней мере, три типа клеток, вырабатывающих свой собственный класс иммуноглобулинов. В последние годы супрессоры обнаружены также среди В-лимфоцитов и макрофагов.

В современной иммунологии особенно большое внимание уделяется изучению клеток-супрессоров. Сейчас уже не вызывает сомнений, что различные расстройства иммунитета можно объяснить не только ослаблением реакций активных, так называемых эффекторных, клеток иммунной системы (Т-киллеров, антителообразующих клеток), но также усиленной активностью клеток-супрессоров.

Основное свойство иммунной системы — способность отличать «свое» от «чужого» при помощи специфических реакций. Причем при первом контакте с каким-либо антигеном формируется иммунологическая память (в этом случае говорят о сенсибилизации лимфоидных клеток), а при повторном — иммунологические реакции выражены уже значительно сильнее.

Развитие иммунологических исследований привело к появлению нескольких гипотез иммунной защиты, в том числе гипотезы иммунологического надзора. Наиболее четко сформулирована она лауреатом Нобелевской премии австралийским иммунологом Ф. Бернетом.² Согласно этой гипотезе, основная функция иммунной системы — обезвреживать и выбраковывать мутанты, постоянно возникающие под влиянием фоновых доз тех или иных му-

тагенных факторов, под воздействием которых мы постоянно находимся (ионизирующее излучение, ультрафиолетовая радиация, различные химические мутагены, попадающие в организм с пищей и из окружающей среды, и т. д.). Предполагаем, что каждая такая клетка-мутант чужеродна для иммунной системы организма и потому должна быть уничтожена: в противном случае мы все могли бы погибнуть от развития злокачественных опухолей, так как многие мутировавшие клетки в благоприятных условиях могут превратиться в раковые.

Сторонники гипотезы иммунологического надзора предполагают, что мутировавшие клетки уничтожаются Т-лимфоцитами; при этом клетки-мутанты рассматривают как чужеродный трансплантат, способный вызвать иммунную реакцию организма.

Гипотеза иммунологического надзора подтверждается многими фактами, пользуется большой популярностью, и подавляющее большинство иммунологов считает, что основная функция иммунной системы — уничтожение «чужого», возникшего в недрах собственного организма. Однако эту гипотезу нельзя считать строго доказанной, так как имеются данные, противоречащие ей.

ЧЕТЫРЕ ИСКЛЮЧЕНИЯ ИЗ ПРАВИЛА

Ахиллесовой пятой гипотезы иммунологического надзора является наличие в организме органов, отгороженных от остального тела физиологическими барьерами. К таким «забарьерным» органам и иммунологически изолированным системам можно отнести центральную нервную систему, глаз, мужские половые железы и плод. Оказывается, в иммунной системе организма имеются клоны лимфоидных клеток, способные реагировать с некоторыми веществами клеток «забарьерных» органов; иначе говоря, эти вещества чужие для собственной иммунной системы. В обычных условиях атака клеток иммунной системы против «забарьерных» антигенов предотвращается физиологическим барьером. Но в случае нарушения его целостности или повышения его проницаемости в результате инфекции, травм или других воздействий клетки иммунной системы могут проникнуть через образовавшуюся брешь и нанести удар по чужим для нее клеткам своего же собственного организма. По-видимому, таким образом и возникает аутоиммунное заболевание.

² Burnet F. M. Immunological surveillance, Sidney, 1970.

Понять механизм этого заболевания можно, разобравшись в механизме физиологической изоляции забарьерных органов.

Лучше всего изучен механизм физиологической изоляции **центральной нервной системы**, в частности головного мозга. Здесь имеется гемато-энцефалический барьер, защищающий кровеносные сосуды мозга от проникновения различных веществ. Капилляры кровеносной системы мозга, в отличие от капилляров других органов, выстланы клетками эндотелия, которые перекрывают друг друга подобно черепице. Такая особенность, по мнению многих исследователей, и составляет морфологическую основу иммунного барьера, преграждающего путь лимфоцитам в головной отдел центральной нервной системы. Определенную роль в работе гемато-энцефалического барьера играют также клетки глии, заполняющие пространство между нейронами и мозговыми кровеносными капиллярами. Большинство исследователей считает, что гемато-энцефалический барьер — не столько анатомическое, сколько функционально-физиологическое образование, работа которого зависит как от его структуры, так и от метаболической активности ткани мозга.

Помимо гемато-энцефалического существует еще ликворно-мозговой барьер между спинномозговой жидкостью (ликвором) и структурным отделом головного мозга. Функции этого барьера выполняет эпендима — клетки, выстилающие желудочки мозга и центральный спинномозговой канал. Кроме того, поступление различных веществ из крови в ликвор регулирует также гемато-ликворный барьер.

Таким образом, существует целая система барьеров, которые обеспечивают ступенчатую защиту клеток головного отдела центральной нервной системы от различных вредных веществ и поддерживают оптимальное состояние его внутренней среды.

С позиций гипотезы иммунологического надзора, приписывающей основную функциональную роль в этом надзоре Т-лимфоцитам, скорость образования мутантных клеток и опухолей в центральной нервной системе, клетки которой не делаются, должна быть значительно выше, чем в других тканях. На самом же деле опухоли мозга, особенно злокачественные, развиваются здесь не чаще, чем в других органах. Альтернативное предположение о том, что клетки нервной системы мутируют значительно реже остальных клеток тела, ли-

шено достаточных оснований, так как опухоли центральной нервной системы происходят в основном из глии, клеток, которые тоже делятся и, следовательно, подвергаются мутациям с частотой, сравнимой с частотой мутаций в других органах и тканях.

Помимо физиологической обособленности, обеспечивающей целостность мозга, в центральной нервной системе, очевидно, существует собственная иммунная система. Если это так, то механизм осуществляемого ею контроля должен быть существенно отличен от механизмов иммунной системы организма. Поскольку свободное перемещение клеток по центральной нервной системе затруднено из-за очень узких межклеточных пространств, предполагаемый механизм иммунологического надзора мозговой ткани должен быть строго локальным. Предпосылкой к осуществлению собственного иммунологического надзора является возникновение аутоиммунных заболеваний после травм головного мозга. При разрушении клеток мозговой ткани за развитие иммунных реакций могут отвечать только собственные лимфоциты, поскольку в самой центральной нервной системе лимфоидной ткани нет. В том же случае, когда по какой-либо причине повышена проницаемость гемато-энцефалического барьера или нарушена его целостность, также развиваются иммунные заболевания головного отдела центральной нервной системы. Так, введение под кожу экспериментальным животным эмульсии мозговой ткани с каким-либо иммуностимулятором вызывает у них экспериментальный аллергический энцефаломиелит, приводящий к развитию параличей. С помощью электронного микроскопа удалось установить, что в этих условиях лимфоциты проходят через гемато-энцефалический барьер.

Наиболее вероятным кандидатом на роль активных участников иммунологического надзора в головном отделе центральной нервной системы могут быть клетки микроглии (разновидность клеток глии), способные к активному фагоцитозу и, по видимому, содержащие на поверхности рецепторы, сходные с рецепторами макрофагов³.

³ Дейчман Г. И. Современные концепции иммунологических взаимоотношений опухоли и организма.— В кн.: Опухолевый рост как проблема биологии развития. М., 1979, с. 208.

Сложной системой биологических барьеров обеспечен и глаз. Все их можно объединить общим названием — гемато-офтальмический барьер. Сюда относятся эпителиальный барьер, включающий эндотелий сосудов сетчатки, и барьер между кровью и водянистой влагой глаза. Эти барьеры обеспечивают избирательное проникновение в глаз различных веществ из крови. Внутри глаза не обнаружено собственной лимфоидной ткани и лимфатических сосудов, а проницаемость гемато-офтальмического барьера для лимфоцитов не доказана.

Как и в центральной нервной системе, иммунизация препаратами сетчатки и сосудистого тракта глаза вместе с иммуностимулятором вызывает аутоиммунные заболевания глаза (сетчатки или сосудистого тракта). Травма глаза зачастую приводит к развитию аутоиммунного заболевания во втором (нетравмированном) глазу.

Теперь о третьем исключении. Известно, что введение собственных сперматозоидов в кровь вызывает образование противоспермальных антител. Поэтому изоляция семенников необходима организму. Таким заградительным образованием в мужских половых железах служит гемато-тестикулярный барьер. Защитную функцию здесь выполняют стенки кровеносных капилляров, собственная оболочка семенных канальцев, так называемые клетки Сертоли, а также соединительная ткань и белковая оболочка семенника.

Повреждение гемато-тестикулярного барьера приводит к развитию аутоиммунных заболеваний семенников. Иммунизация самцов различных лабораторных животных эмульсией семенника в сочетании с иммуностимулятором подавляет выработку сперматозоидов и вызывает воспаление семенников: развивается так называемый аутоиммунный орхит. Это заболевание можно воспроизвести экспериментально, перевязав, а затем удалив семяносящие протоки. Основную роль в развитии аутоиммунных заболеваний семенников, так же как и при аутоиммунных заболеваниях центральной нервной системы и глаза, играют Т-лимфоциты: проникая через брешь в биологическом барьере, они сенсибилизируются антигенами семенников и вызывают деструктивные реакции в органе. Показательно, что аутоиммунный орхит удается вызвать после удаления тимуса (органа, где созревают лимфоциты) уже на третий день после рождения! Экспериментальный аутоиммунный орхит можно воспроизвести

также *in vitro*: собственные клетки семенников иммунизируют лимфоциты, что проявляется в их способности убивать эти клетки после удаления в культуре ткани.

Поскольку лимфоциты в норме не проходят через гемато-тестикулярный барьер и собственной лимфоидной ткани в семенниках нет, а частота развития опухолей в них не выше, чем в других тканях, можно предположить, что иммунологический надзор в забарьерной ткани семенника осуществляют другие клеточные элементы. Эту функцию, возможно, выполняют клетки Сертоли, способные поглощать отмершие зародышевые клетки. Однако этот вопрос остается неясным и требует дальнейшего изучения.

Наличие биологического барьера в женских половых железах пока еще не доказано. Во всяком случае, такая возможность не исключена. Она подтверждается опытами, в которых аутоиммунное воспаление яичников было вызвано иммунизацией крыс тканью яичников.

И четвертое исключение — плод. Плод можно рассматривать как своеобразный трансплантат, который содержит чужеродные для матери антигены, унаследованные от отца.⁴ Однако этот чужеродный трансплантат не отторгается. Какие бы противоречивые мнения ни существовали относительно причин иммунологического парадокса плода, все согласны в одном: разгадка парадокса скрыта прежде всего в плаценте. И хотя ранний зародыш (до образования плаценты) также не отторгается, нас интересует именно плод, который можно рассматривать как своеобразную забарьерную систему органов.

Зачаток плаценты — трофобласт — появляется уже на стадии зародышевого пузырька (бластоцисты) и отделяет кровеносную систему матери от кровотока плода. Клетки трофобласта способны проникать в окружающую ткань, что облегчает имплантацию зародыша в слизистую оболочку матки. Через трофобласт зародыш получает питательные вещества из крови матери и выделяет продукты своего обмена. В дальнейшем из внутреннего слоя трофобласта возникает хорион — ворсинчатая оболочка плода. После образования плаценты она принимает на себя функции биологического барьера между матерью и плодом.

⁴ Плодом называют зародыш после образования детского места — плаценты. У человека плод формируется в течение четвертого месяца после зачатия.

В микроскопе вокруг клеток трофобласта можно увидеть плотный слой так называемого фибриноида. Оказалось, что толщина этого слоя и вес плаценты тем больше, чем сильнее выражены генетические различия между матерью и плодом. По-видимому, именно этот слой маскирует антигены трофобласта, защищая плод от иммунной атаки лимфоцитов матери.

Роль плаценты как биологического барьера несомненна. Однако основные доказательства этого факта получены при изучении избирательной проницаемости плаценты для различных химических веществ. Возможность прохождения через плаценту клеток иммунной системы исследована очень мало. Оказывается, что в определенных условиях через плацентный барьер в организм матери могут проникать клетки крови плода, и значительно реже в тело плода — клетки крови матери. Правда, таких путешественников удается обнаружить с трудом и в небольших количествах, как, впрочем, и других нарушителей границ: пограничная стража не дремлет. Однако в определенных условиях может возникнуть пограничный конфликт, а в ряде случаев — война, распространяющаяся на весь организм.

Лимфоциты появляются в крови эмбриона уже с 7—8-й недели внутриутробной жизни, тимус начинает функционировать с 10-й недели, селезенка — с 15-й, лимфатические узлы — к 20-й неделе. С 15-й недели лимфоциты плода человека уже реагируют против чужеродных антигенов, но их иммунологическая активность значительно слабее, чем у взрослых. Поэтому немногочисленным, плохо обученным и слабо вооруженным новобранцам — лимфоцитам плода — трудно бороться с многомиллионной отлично вооруженной армией лимфоцитов матери. В этих условиях попытка бунта чаще всего безнадежна и иммунологический конфликт обычно не развивается.

Иное дело — материнские лимфоциты. Они также могут иногда проходить через плаценту в тело плода.⁵ В таких условиях незрелая иммунная система плода бессильна против высокореактивных лимфоцитов матери и, следовательно, возможен иммунологический конфликт. При этом может развиться реакция «трансплантат против хозяина».

Эта реакция у ряда линий мышей

повышает частоту образования злокачественных опухолей лимфоидной ткани (лимфом), что наиболее четко выражено у высоколейкозных линий животных, генетически предрасположенных к этим заболеваниям⁶. Такой эффект был продемонстрирован в нашей лаборатории на низколейкозных линиях мышей. Оказалось, что реакция «трансплантат против хозяина», индуцированная во время беременности, резко повышает частоту злокачественных лимфом у матерей по сравнению с их частотой у небеременных животных. Особенно важно, что частота злокачественных лимфом резко увеличилась и у потомства, матери которых перенесли реакцию «трансплантат против хозяина» во время беременности⁷. Эта реакция, инициированная материнскими лимфоцитами, может служить причиной развития болезней иммунологической недостаточности и злокачественных лимфом у детей. По-видимому, некоторые формы лейкозов у детей могут развиваться в результате внутриутробной реакции «трансплантат против хозяина». При этом в молоке и плазме крови матерей, появляясь какой-то фактор, вызывающий у потомства заболевание. Эти факты напоминают о необходимости величайшей осторожности при пересадке у беременных женщин костного мозга, переливании крови и других процедурах, которые могут привести к развитию иммунологических конфликтов. Показания к таким вмешательствам должны быть резко сокращены.

Следует, однако, иметь в виду, что плацента, как и другие биологические барьеры, не столько анатомический, сколько физиологический барьер. Это подтверждается, в частности, тем, что различные гормоны и белки, вырабатываемые плацентой (человеческий хориональный гонадотропин, трофобластический β -глобулин и другие), угнетают иммунологическую реактивность лимфоцитов матери⁸. Хотя обмен клетками между матерью и плодом

⁶ Schwartz R. S., Beldotti L.— Science, 1965, v. 179, p. 1511.

⁷ Шевелев А. С., Зарудин В. В., Дукова В. С. и др.— Тезисы докладов симпозиума «Иммунология опухолей». Киев, 1975, с. 273; Дукова В. С., Зарудин В. В., Шевелев А. С. и др.— Доклады АН СССР, 1976, т. 230, с. 237.

⁸ Гулянский Л. Н., Федоров Г. Н. Малигнизация лимфоидной ткани у матерей и потомков в условиях реакции «трансплантат против хозяина». — В сб.: Современные проблемы гемосорбции и трансплантации. М., 1980, с. 110.

⁵ Основы иммуноэмбриологии. М., 1973.

весьма незначителен, он все же играет определенную роль в физиологии плода. Так, нарушение целостности какого-либо органа матери во время беременности нередко приводит к патологии аналогичных органов у плода и новорожденных. Например, если у беременной самки крысы удалить одну долю щитовидной железы, то у плода этот орган развивается раньше и сильнее, чем в норме, а удаление у беременной самки одного легкого приводит к ускоренному и избыточному развитию легких у плода.

Однако материнские лимфоциты проникают в тело плода так редко и в столь небольшом количестве, что вероятность их участия в иммунологическом надзоре у плода мала. Очевидно, собственная, хотя и незрелая, иммунная система плода вполне справляется с защитной функцией. По-видимому, немалую роль здесь играют клетки-супрессоры, количество которых у плода резко увеличено. Возможно, именно эти клетки, угнетающие активность эффекторных клеток иммунной системы матери, препятствуют случайно проникшим материнским лимфоцитам атаковать клетки плода.

ОСОБЕННОСТИ ЗАБАРЬЕРНОЙ ИММУНОЛОГИИ

Итак, иммунологические свойства забарьерных органов отличаются от других органов и систем рядом существенных особенностей. Первая из них — это наличие непроницаемого или почти непроницаемого (плацента) биологического барьера для клеток иммунной системы. Отсюда целая цепочка последующих событий: клетки этих органов становятся «чужими» в своем организме, а значит нарушение целостности соответствующего биологического барьера вызывает иммунологический конфликт.

Это обстоятельство позволяет моделировать различные аутоиммунные заболевания, используя гомогенаты (измельченные ткани) соответствующих органов в комбинации с иммуностимулятором.

Во всех этих органах основную роль в патогенезе аутоиммунных заболеваний играют Т-лимфоциты, поскольку их трансплантация генетически идентичным животным вызывает заболевание. Это можно объяснить тем, что для лимфоцитов, сенсибилизированных антигенами забарьерных органов, биологические барьеры становятся проницаемыми.

Как объяснить тот факт, что анти-

гены забарьерных органов чужеродны для собственной иммунной системы?

В течение длительного времени в иммунологии господствовали представления Ф. Бернета, согласно которым иммунная система не реагирует на антигены забарьерных органов и тканей потому, что в эмбриональной жизни (возможно, в тимусе) клоны лимфоцитов, способные реагировать против этих антигенов, выбраковываются. С этой позиции антигены забарьерных органов остаются чужеродными для собственной иммунной системы потому, что сохранились клоны лимфоцитов, способные реагировать с ними. Ведь образование биологических барьеров помешало их знакомству.

Однако открытие супрессорных клеток наводит на мысль, что неспособность иммунной системы реагировать на антигены собственного тела можно объяснить не выбраковкой соответствующих клонов, а активностью угнетающих их супрессорных клеток; в свою очередь развитие аутоиммунных заболеваний вызвано ослаблением деятельности супрессоров.

Это предположение, по-видимому, справедливо для забарьерных органов. Так, обнаружено, что нормальные клетки тимуса крыс линии Льюис содержат популяцию клеток, специфически реагирующих с антигенами спинного мозга, способными вызвать экспериментальный аллергический энцефаломиелит после сенсибилизации нейроантигенами в культуре ткани⁹. Возможно, что в нормальных условиях соответствующие аутореактивные клоны не погибают, а угнетаются супрессорными клетками. Аутоиммунитет возникает в том случае, когда уменьшается количество или активность клеток-супрессоров.

Но если неспособность иммунной системы реагировать на антигены забарьерных органов принципиально не отличается от ее неспособности реагировать на собственные антигены других органов и тканей, то как тогда объяснить понятную с позиций гипотезы выбраковки соответствующих клонов чужеродность антигенов забарьерных органов для собственной иммунной системы? На этот вопрос пока трудно ответить.

Вторую важную особенность забарьерных органов составляет своеобразие реакции иммунной системы на их травму. В них, в отличие от других органов и систем, после травмы или частичной резек-

⁹ Orgad S., Cohen I. L. — Science, 1974, v. 183, p. 1083.

ции нет полноценного восстановления. Более того, в этих условиях в забарьерных органах прогрессирующие разрушительные процессы зачастую приводят к их атрофии, что особенно четко выражено при травме яичка и глаза. Эта особенность забарьерных органов, по-видимому, связана с развитием в них после травмы аутоиммунных процессов: повреждение биологических барьеров способствует проникновению в эти органы лимфоцитов и их сенсibilизации антигенами забарьерных органов и далее приводит к их прогрессирующему поражению.

Третья отличительная черта забарьерных органов — отсутствие в них лимфоидной ткани и лимфатических сосудов (за исключением плода). Именно этим (в сочетании с их непроницаемостью в нормальных условиях для лимфоцитов) можно объяснить длительное выживание чужеродных трансплантатов в забарьерных органах.

Таким образом, все рассмотренные нами органы объединяет одно — относительная изоляция от всего организма и наличие собственной внутренней среды.

Каков биологический смысл такой изоляции? Наиболее вероятен следующий ответ: эти органы более других нуждаются в усиленной защите от различных вредных воздействий, а также от атаки собственной иммунной системы. Центральная нервная система — важнейшая регуляторная система организма; нервные клетки (нейроны) не делятся, не возобновляются в течение жизни — их следует наиболее тщательно охранять. Сложнейшие функции глаза находятся под постоянным воздействием различных вредных внешних агентов. Половые клетки несут наследственную информацию, которая требует надежной защиты от различных внешних агентов. Плод, содержащий чужеродные для матери отцовские антигены, необходимо оградить от атаки материнских лимфоцитов: ведь в противном случае он будет отторгнут.

НАДЗОР В ЗАБАРЬЕРНЫХ ОРГАНАХ

Вернемся к гипотезе иммунологического надзора.

Если для всего организма в целом, а точнее, для забарьерных органов ее можно считать почти доказанной, то как быть с забарьерными органами?

Ведь существование непроницаемых биологических барьеров для Т-лимфоцитов, главных эффекторных клеток системы им-

мунной защиты, не позволяет объяснить иммунный механизм в этих органах с позиций иммунологического надзора. Значит, если иммунологический надзор в забарьерных органах существует, то он должен иметь определенный материальный субстрат, или, иначе говоря, должны быть собственные относительно автономные иммунные системы.

Существуют ли они на самом деле?

В пользу существования автономной иммунной системы в забарьерных органах свидетельствуют следующие факты. Прежде всего относительно небольшая частота спонтанных опухолей в забарьерных органах. Если бы в них отсутствовал иммунологический надзор, все клетчатко-мутанты с онкогенными потенциальностями могли бы стать опухолевыми. Однако этот довод не бесспорен: не исключено, что в забарьерные органы не могут проникать те или иные канцерогены.

Второй важный довод в пользу автономного иммунитета — доказательство отсутствия проникновения в забарьерные органы лимфоцитов в сочетании с отсутствием лимфоидной ткани в самих органах. Однако и этот факт не может считаться абсолютно доказанным, поскольку не исключено, что это явление не обнаружено из-за отсутствия адекватных чувствительных методов.

И наконец, в последние годы появились сообщения о наличии в центральной нервной системе собственной системы кровеносных стволовых клеток — предшественников микроглии¹⁰. Однако эти сообщения нуждаются в подтверждении.

А кроме того, существуют и факты, явно противоречащие гипотезе иммунной автономии забарьерных органов.

Так, при пересадках органов (почек и других) в центральной нервной системе выявлена необычайно высокая частота развития злокачественных лимфом, что свидетельствует о слабой выраженности в ней надзора за потенциально злокачественными клетками. Однако высокую частоту развития злокачественных лимфом в мозговой ткани можно объяснить и тем, что применяемые при пересадках органов иммунодепрессанты не проходят или плохо проходят через биологический барьер: поэтому лимфомы вне центральной нервной системы развиваются реже, чем в ткани мозга.

¹⁰ Bartlett P. F. — Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1982, v. 79, p. 2722.

Нельзя также исключить регулирующее действие иммунной системы на функции забарьерных органов даже в том случае, если в них не проходят лимфоидные клетки. Ведь через биологические барьеры могут проходить различные растворимые факторы, вырабатываемые лимфоцитами и способные регулировать иммунный ответ.

Возможно, иммунологический гомеостаз и иммунологический надзор в физиологически изолированных органах отсутствует вовсе и соблюдение постоянства внутренней среды осуществляется с помощью неиммунологического контроля. Механизм такого надзора может быть сходен с механизмом так называемой аллогенной ингибиции, когда отторжение чужеродных трансплантатов (например, костного мозга) вызвано не иммунологическими механизмами, а различиями в молекулярной структуре мембран клеток донора и реципиента. Иными словами, не исключено, что этот надзор, в отличие от иммунологического, характеризуется отсутствием специфичности и невозможностью формирования памяти.

Таким образом, имеются факты как доказывающие существование собственных иммунных систем в забарьерных органах, так и противоречащие этой гипотезе. Однозначно решить этот вопрос пока невозможно. Во-первых, проницаемость биологических барьеров изучена в основном для различных химических соединений, а проницаемость их для клеток исследовалась лишь в единичных работах (именно поэтому полностью исключить проницаемость биологических барьеров для лимфоцитов нельзя). Во-вторых, мнение о том, что на территории забарьерных органов иммунологический надзор отсутствует вовсе, маловероятно: невозможно ведь допустить, что в этих органах клетки не мутируют и не выбраковываются. В-третьих, уже доказано, что в некоторых забарьерных органах (например, плоде) существует своя иммунная система. А может быть, в забарьерных органах надзор за измененными клетками носит вообще неиммунологический характер?

Какая из этих возможностей наиболее вероятна, покажут дальнейшие исследования. Но независимо от того, будут ли обнаружены в забарьерных органах собственные иммунные системы или же их существование доказать не удастся, наличие в этих органах собственных систем саморегуляции (иммунологических или неиммунологических) весьма вероятно.

ПУТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ПРОВЕРОК

Важным шагом в решении вопроса об иммунном надзоре в забарьерных органах должно стать изучение механизмов взаимодействия клеток забарьерных органов в культуре клеток *in vitro*. Опыты по выделению тех или иных клеточных популяций забарьерного органа и введению их в мозг не были бы корректны, поскольку при этом нельзя исключить возможность повреждения биологического барьера. Кроме того, в силу анатомических особенностей мозга в него можно вводить только малое количество клеток, которое может оказаться неэффективным. Наилучшей моделью для таких экспериментов можно считать центральную нервную систему, точнее, популяции клеток нейроглии, поскольку именно они — наиболее вероятный кандидат на роль иммунокомпетентной клетки в тканях мозга.

Если гипотеза о наличии в забарьерных органах собственной иммунной системы верна, она может иметь определенные следствия:

во-первых, тогда в забарьерных органах должны быть собственные системы стволовых клеток — предшественников иммунокомпетентных клеток данного органа (в центральной нервной системе уже получены первые доказательства наличия такой системы);

во-вторых, в этом случае иммунную систему организма нужно будет рассматривать как совокупность различных систем добарьерных и забарьерных, что потребует коренной перестройки современных представлений о структуре иммунной системы;

в-третьих, поскольку обнаружен гемато-тимический барьер¹¹, не исключено, что и в тимусе имеется такая же саморегулирующаяся система (в этом случае придется пересмотреть роль тимуса в иммунитете).

¹¹ Lahey R. D., Pereira G. — *Anat. Res.*, 1977, v. 189, p. 545.



Стратегия охраны природы Севера

В. В. Крючков



Василий Васильевич Крючков, доктор биологических наук, заведующий Лабораторией охраны природы Кольского филиала АН СССР. Основные научные интересы связаны с проблемами экологии и охраны природы, биогеоценологии, рекультивации нарушенных земель. Работал во всех районах Севера от Чукотки до Кольского п-ова. Автор книг: *Крайний Север: проблемы рационального использования природных ресурсов*. М., 1973; *Чуткая Субарктика*. М., 1976; *Агроресомелиорация тундры*. М., 1978; *Красная книга экосистем Кольского Севера*. Апатиты, 1983. Неоднократно печатался в «Природе».

Со словом Север обычно ассоциируется представление о холодных и чистых пространствах суши, мало затронутых человеческой деятельностью. В географии СССР этим термином принято обозначать огромный регион, простирающийся от западных границ нашей страны на Кольском п-ове до тихоокеанского побережья на востоке и захватывающий арктическую пустыню, тундру, лесотундру и значительную часть тайги. Это около 50% площади СССР. В таком толковании понимают Север (Крайний Север и районы, приравненные к нему) подавляющее большинство ученых, занимающихся проблемами этого региона.

Пока на Севере живет всего 3% населения страны, а площадь, занимаемая промышленными очагами, составляет менее 1% территории региона. Между тем именно на Севере сосредоточено около 80% всех полезных ископаемых страны; поэтому естественно предполагать, что горнодобывающая промышленность все быстрее будет перемещаться в этот регион.

Осваивать Север нелегко. Кроме суровости климата, удаленности от экономических центров страны, слабо развитой транспортной сети, малой заселенности и

недостатка трудовых ресурсов, есть и еще одна, и может быть, главная причина, которая осложняет и будет осложнять освоение Севера, — это чрезвычайная хрупкость и легкая разрушаемость природы Севера при антропогенном воздействии на нее. Наши, хотя и неполные, знания о Севере уже позволяют наметить определенную стратегию сохранения природы этого региона в условиях нарастающих темпов его индустриального освоения. Она позволит сохранить экологическое равновесие и качество окружающей среды, нужное для жизни человека в суровых условиях, и в то же время будет способствовать рациональному использованию биологических ресурсов, которыми богат Север.

УЯЗВИМОСТЬ СЕВЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Естественный круговорот вещества и энергии в северных экосистемах характеризуется крайне замедленными темпами. Нарушенный хозяйственной деятельностью, он должен восстанавливаться долгие десятилетия прежде всего из-за низкой биологической продуктивности экосистем. Ежегодный прирост фитомассы и ее общие запасы на единицу площади на Севере в 5—15 раз меньше, чем в более южных зонах (тайге, лесостепи, степи). Примерно

¹ Крючков В. В. Север: природа и человек. Перспективы освоения. М., 1979.

так же соотносятся почвенная микрофауна и микрофлора Севера и южных зон. Известно, что чем больше растений, живых организмов и органического вещества, и прежде всего гумуса, в фитоценозах и почвах, тем выше защитные свойства экосистем и тем устойчивее они к загрязнению. Органическое вещество, поступающее в кругооборот, активизирует размножение микроорганизмов, способствующих утилизации загрязнителей и самоочищению экосистемы. Малогумусные почвы Севера обладают слабыми защитными свойствами.

К тому же в этом регионе проходят границы распространения деревьев, кустарников, кустарничков, многих травянистых растений, а также многих животных, как позвоночных, так и беспозвоночных. В этих экстремальных условиях любое антропогенное воздействие разрушает сразу несколько компонентов биоты, а это ведет к нарушению или разрушению всей экосистемы.

Особенно сказывается на природе Севера загрязнение среды.

В нашей Лаборатории охраны природы Кольского филиала АН СССР установлена чувствительность ряда растений Севера к загрязнению воздуха (см. таблицу).

Растения, приведенные в первых трех группах в таблице, являются доминантами растительного покрова в тундре, лесотунд-

ре, северной тайге. Они слагают моховые, лишайниковые тундры, еловые, сосновые и лиственничные леса, моховые болота. Таким образом, даже при соблюдении ПДК загрязняющих веществ в воздухе все эти растительные сообщества будут деградировать.

Менее требовательны к загрязнению — лиственные деревья, кустарники, в том числе ягодные, некоторые травянистые растения. Они могут существовать даже при загрязнении более высокого уровня, чем санитарные ПДК.

Проблема уменьшения выбросов в атмосферу вредных веществ становится на Севере очень актуальной и в связи с особенностями распространения потоков загрязненного воздуха.

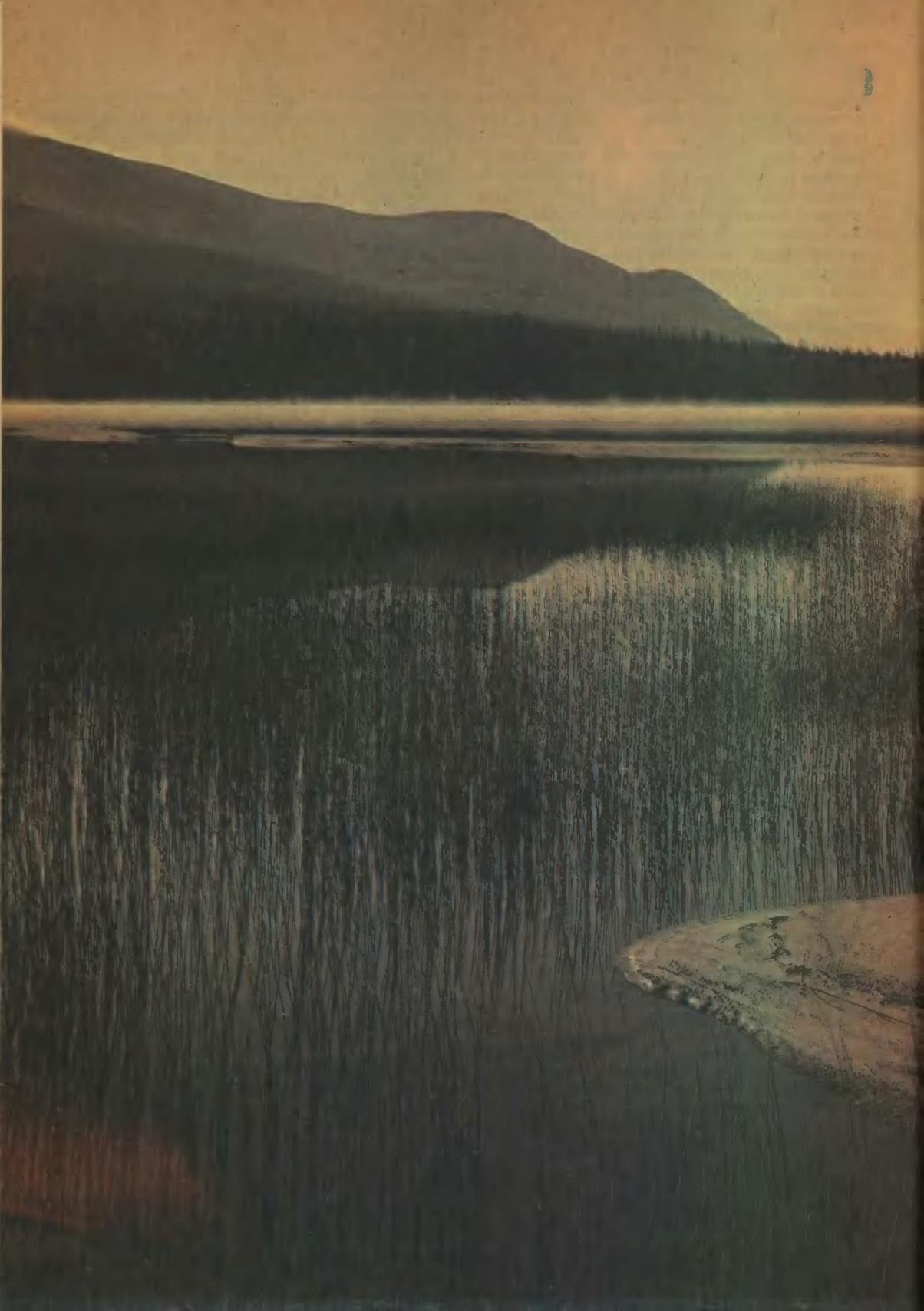
ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА СЕВЕРЕ

Загрязненный воздух разносится на тысячи километров; например, из промышленных районов ФРГ, Великобритании он доходит до Норвегии, Швеции, Финляндии; из глубинных районов США — в Канаду, Атлантику и т.д. Окислы серы, азота, углерода со временем превращаются в капельки соответствующих кислот и в виде так называемых кислотных дождей выпадают на экосистемы.

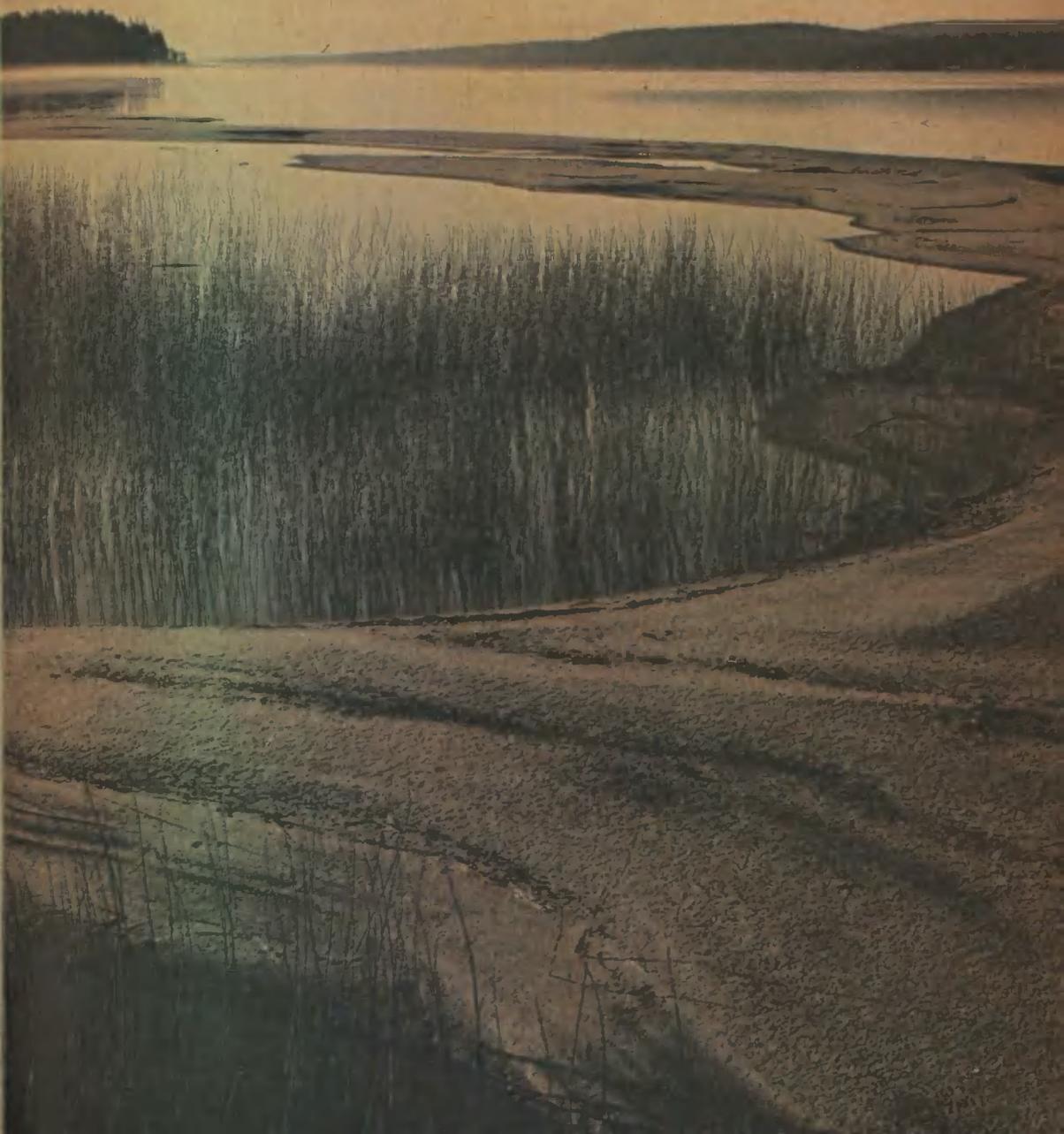
В настоящее время территория под населенными пунктами и промышленными

Таблица
Чувствительность растений к загрязнению

Название растений	Допустимые для выживания концентрации веществ, мг/м ³			
	SO ₂	HF	NiO	пыль
Эпифитные кустистые лишайники родов <i>Bryopogon</i> , <i>Usnea</i>	<0,005	<0,001	<0,0002	<0,01
Эпифитные листоватые лишайники родов: <i>Hypogymnia</i> , <i>Parmelia</i> , <i>Parmeliopsis</i> ; мхи родов <i>Sphagnum</i>	0,005— 0,009	0,001— 0,003	0,0002— 0,0009	0,01— 0,02
Мхи родов <i>Dicranum</i> , <i>Polytrichum</i> , <i>Pohlia</i> , <i>Hylocomium</i> , <i>Pleurozium</i> ; напочвенные кустистые лишайники родов <i>Cetraria</i> , <i>Cladonia</i> , <i>Stereocaulon</i> и др.; все виды накипных лишайников на деревьях и камнях; хвойные деревья и кустарники родов <i>Picea</i> , <i>Pinus</i> , <i>Larix</i> , <i>Juniperus</i>	0,009— 0,05	0,003— 0,005	0,0009— 0,001	0,02— 0,05
Лиственные деревья и кустарники родов <i>Betula</i> , <i>Sorbus</i> , в частности <i>B. pubescens</i> , <i>B. tortuosa</i> , <i>B. nana</i>	0,05— 0,07	0,005— 0,007	0,001— 0,002	0,05— 0,08
Кустарниковые кусты <i>Salix glauca</i> , <i>S. herbacea</i> , <i>S. lapponum</i> и др.; деревья и кустарники родов <i>Populus</i> , <i>Alnus</i> ; ягодные кустарнички (брусника, голубика, черника); травянистые растения, в частности <i>Leymus arenarius</i>	0,07— 0,1	0,007— 0,01	0,002— 0,004	0,08— 0,1



Одно из крупнейших озер Кольского Севера — озеро
Имандра.



узлами занимает в разных районах Севера сотые, реже десятые доли процента пространства; к 2000 г. эти территории существенно возрастут, но тем не менее, по расчетам, не превысят 1%. Несмотря на это, их антропогенное воздействие на природу Севера и сейчас очень сильно. Мы проводили исследования² в одном из северных физико-географических районов площадью около 150 тыс. км². На этой территории находится не более 10 промышленных узлов, удаленных один от другого на 50—150 км, общей площадью около 100—150 км².

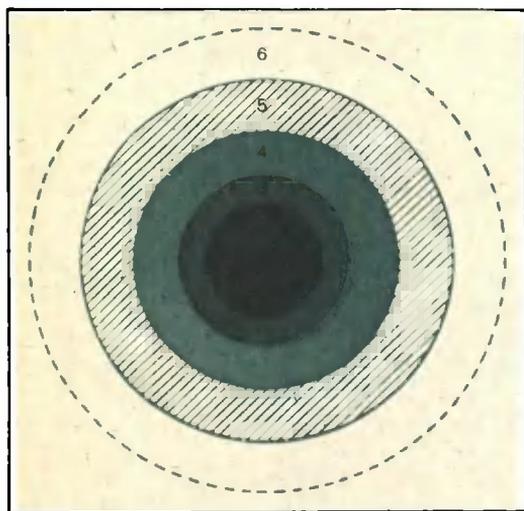


Схема аэротехногенного распространения загрязнений и нарушения экосистем в окрестностях промышленного узла. 1 — промышленный узел; 2 — зона полного разрушения экосистемы [здесь отмирает растительный покров, деградируют почвы, образуются овраги на вечномёрзлых и талых грунтах]; 3 — зона деградации напочвенных лишайников, хвойных деревьев, мхов; 4 — зона деградации эпифитных лишайников и сфагновых мхов; 5 — зона, где снежный покров загрязнен выше фонового уровня; 6 — зона, где воздух загрязнен выше фонового уровня.

(0,07—0,1 % от всей территории). Воздух, загрязненный окислами серы, азота, углерода распространялся за пределы региона.

Снежный покров загрязнился тяжелыми металлами выше фоновых значений на 60% территории; сульфат-ионом (SO_4^{2-}) — на всей территории региона.

Эпифитные кустистые лишайники родов *Bryorogon*, *Usnea* деградировали на 30—35% территории.

Территории, на которых ухудшается состояние хвойных лесов, мохово-лишайниковых тундр, моховых болот, оконтуривают промышленные узлы и города и занимают площади в 400—1200 км². Это пока изолированные контуры, хотя площадь их растет, превышая площадь под источниками загрязнения в 100—1000 раз. Внутри этих изолированных контуров, занимая несколько меньшие площади, расположены участки



Отмирание лиственницы и возникновение термокарстовых просадок — результат загрязнения и запыления атмосферы.

с разрушающимися почвами, эти участки в 50—80 раз превосходят площади под источниками загрязнения.

Почвы разрушаются прежде всего потому, что в верхнем слое, образованном органическими остатками (чаще всего это мохово-торфянистый слой), накапливаются загрязняющие вещества, от которых гибнут растения, беспозвоночные животные, микроорганизмы.

На вечномёрзлых грунтах почвы из-за повышенного запыления летом оттаивают на большую глубину, чем в естественных условиях. Это ведет к оседанию и провалам рельефа тем большим, чем больше подземных льдов содержится в месте протаи-

² Крючков В. В. — Геогр. и природные ресурсы, 1983, № 2, с. 12.

вания. В результате образуются термокарстовые озера, овраги, западины, провалы. Подобные явления наблюдаются не только в ближайших окрестностях городов, но и вдали от них — на участках, где ареалы загрязнения двух или нескольких городов накладываются один на другой, тем самым увеличивая запыление и загрязнение. На таких территориях могут отмирать не только эпифитные кустистые лишайники, но и менее чувствительные к загрязнению хвойные деревья.

Существует реальная опасность, что

разрушается быстрее и глубже, чем в окружающей равнинной тайге.

Во внутренних водоемах, ограниченных берегами и имеющих значительно меньшие площади и объемы, чем воздушные пространства, загрязненные участки смыкаются гораздо быстрее, чем в наземных экосистемах. Именно поэтому многие озера и реки на планете уже превращены в мертвые водоемы и сточные каналы. Таким образом, чтобы предотвратить загрязнение огромных территорий, совершенно необходимо вводить на промышленных



участки, где идет деградация экосистем (хвойных лесов, мохово-лишайниковых тундр, моховых болот), при росте количества промышленных объектов могут сомкнуться, что приведет к своеобразному экологическому коллапсу на огромных пространствах, в сотни и тысячи раз превышающих общую площадь изолированных и далеко отстоящих один от другого предприятий.³

Здесь надо отметить, что одинаковое по качеству и количеству загрязнение производит большее разрушение в более суровых условиях.

Например, в заполярных условиях северной тайги на невысоких, высотой до 500—600 м над ур. м., горных массивах с проявлением высотной поясности биота

предприятиях Севера (как, впрочем, и на других территориях) замкнутые воздухо- и водообороты.

Конечно, выполнение этих природоохранных мероприятий требует больших капитальных вложений, но, несомненно, они окупятся при рациональном использовании природных ресурсов Севера. Даже предварительная прикидка продуктивности северных экосистем позволяет это утверждать.

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ СЕВЕРА

Известно, что природные системы (леса, моря, озера, реки, болота и т. д.) вырабатывают полезные продукты, без которых вообще невозможна жизнь человека — это прежде всего воздух, вода. К. Маркс писал: «Труд не есть источник всякого богатства. Природа в такой же мере источник потребительских стоимостей (а из них-то ведь и состоит вещественное богатство!), как и труд, который сам есть

³ Крючков В. В. Генеральная схема природоохранных мероприятий на Кольском Севере как основа рационального природопользования. — В сб.: Состояние природной среды Кольского Севера и прогноз ее изменения. Апатиты, 1982, с. 6.

лишь проявление одной из сил природы, человеческой рабочей силы».⁴

Увеличение продуктивности природных систем можно приравнять к росту мощности материально-технических производственных систем. Влияние отрицательных изменений и загрязнений природной среды правомерно рассматривать как износ производственных фондов, который называется и прямо, и опосредованно. Кратко рассмотрим некоторые потребительские стоимости, вырабатываемые природными системами Севера.⁵ Для примера возьмем один из регионов Заполярья, площадь которого около 15 млн га. Здесь распространены озера, реки, северо-таежные леса, болота, тундры. Основное богатство озер и рек региона, занимающих около 10% территории, или 1,5 млн га, — рыба и, конечно же, сама вода. При благоприятной экологической обстановке здесь можно было бы вылавливать с каждого гектара водоемов около 5 кг ценнейшей деликатесной рыбы: семги, кумжи, палии, форели, сига. По самым скромным подсчетам, цена ее могла бы составить около 15 млн руб. в год, даже если рыба вылавливалась бы только на половине имеющихся водоемов. Эта цифра очень далека от реальных доходов от выловленной рыбы.

То же самое можно сказать и о воде. Известно, что воды на Севере очень много. Единовременный запас воды в озерах и реках региона близок к 40 км³. И хотя стоимость воды здесь не так велика, как на юге и востоке страны (по введенным в 1982 г. тарифам на воду, забираемую промышленными предприятиями из водохозяйственных систем, она составляет всего 0,30—0,35 коп. за кубометр), подлинная ценность чистой воды для экосистем едва ли может быть в настоящее время правильно определена. Четвертая часть (т. е. 10 км³) упомянутых выше вод — речные. В реках происходит очень быстрый круговорот, и запас воды в них пополняется за несколько суток. Предприятия, забравшие такое количество воды, должны будут заплатить за нее не менее 3 млн руб. Природа «бесплатно» готовит воду такого высокого качества, что она годится и для питья и, конечно, для промышленности. На очистных сооружениях за несколько дней невозможно

Напочвенный покров кольской лесотундры — брусника, лишайники, мхи.

подготовить 10 км³ чистой воды, да и обошлось бы это очень дорого. Введение замкнутых водооборотов экономически рентабельно еще и потому, что вода в озерах и реках остается чистой, а подготовить на очистных сооружениях сравнительно небольшой объем воды для технологических целей значительно дешевле, чем очищать десятки кубических километров воды до уровня жестких природных стандартов.

Леса области вырабатывают значительно меньше кислорода, чем среднетаежные и широколиственные. Но тем не менее даже заполярный гектар леса за теплый сезон дает от 1 до 3 т кислорода и 10—15 кг фитонцидов. Все леса области за год продуцируют более 10 млн т кислорода и около 100 тыс. т фитонцидов. Подсчитать стоимость этой «продукции» можно, конечно, только условно. Напомним, что 1 т кислорода, выработанного химическими установками, обходится в 150 руб. и больше. Производство 1 кг фитонцидов на установке «Аэрофинт» стоит 30 руб. Если бы все количество кислорода, вырабатываемое лесами области за год, производилось бы промышленным способом, то это стоило бы колоссальных денег — около 1,5 млрд руб.; фитонцидов и того больше — что-то около 3 млрд руб.⁶

Попытаемся (тоже довольно условно) оценить и потребительские стоимости ягод, грибов, ежегодно вырастающих в регионе. Их биологическая продуктивность за сезон следующая: брусники — 615 т, клюквы — 15 т, морошки — 240 т, черники — 300 т, голубики — 900 т, грибов — 200 т. Общая стоимость грибов и ягод по закупочным ценам могла бы составить 2 млн руб.

Значительный доход можно получать при заготовке промысловых птиц и зверей. По данным Главного управления охотничьего хозяйства и заповедников РСФСР, среднегодовой выход промысловой продукции с 1 тыс. га северной тайги может составить 18—20 руб., тундры и лесотундры — 14—15 руб. Другими словами, охотничье-

⁴ Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 19, с. 13.

⁵ Крючков В. В. Эколого-экономическая оценка природных ресурсов Севера. — В сб.: Методы планирования и управления природными ресурсами. (Тез. докл. Всес. конф.) Махачкала, 1982, т. 1, с. 72.

⁶ Там же, с. 75.



промысловая продукция могла бы составить 220—290 тыс. руб. В рассматриваемом нами регионе ежегодно отстреливают 400—500 лосей, 200—250 куниц, 800—850 лис, 4000 белок и немало других зверей и птиц.

Подытоживая все приведенные выше данные, можно сказать, что потенциальная ценность продукции, которую можно ежегодно получать при рациональном использовании ресурсов природных систем Севера, измеряется миллионами рублей. Вывод из таких подсчетов один — все расходы на природоохранные мероприятия окупятся с лихвой.

Практика и расчеты показывают, что при хорошо работающих очистных сооружениях, бережном отношении к природе отрицательное техногенное воздействие распространяется на территорию, примерно в 10 раз превышающую площадь промышленных узлов. Напомним еще раз, что промышленные и транспортные сооружения, города, поселки и сельскохозяйственные угодья занимают на Севере менее 1% территории. Значит, с учетом распространения аэротехногенных примесей только 3—5% общей площади региона не будут вырабатывать потребительных стоимостей. На современном научно-техническом уровне это неизбежно. Увеличение же таких площадей — свидетельство нерационального и некомплексного использования ресурсов. Если техногенное разрушение охватывает десятки процентов территории региона, ущерб будет исчисляться сотнями миллионов рублей, независимо от того, зафиксирован ли он в каких-либо отчетных формах или нет. К сожалению, в настоящее время сложилась ситуация, при которой природоохранные мероприятия, безусловно полезные и необходимые обществу в целом (очистка промышленных сточных вод, сбрасываемых в водоемы, очистка промышленных газов и т. п.), не всегда выгодны промышленному предприятию. Поэтому одна из первоочередных задач в совершенствовании хозяйственного механизма управления природопользованием — разработка экономической оценки от ущерба, приносимого техногенным загрязнением и разрушением природы, и определение экономической ответственности промышленных предприятий за этот ущерб⁷.

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ ПРИРОДЫ И ОБЩЕСТВА

В настоящее время имеется немало примеров положительного воздействия человека на природу Севера, правильного, рационального размещения промышленных объектов, в том числе с учетом положения уникальных природных систем. А еще в 30-е годы, например, планировалась организация Лапландского заповедника и рядом с ним комбината «Североникель». Сегодня ясно, что заповедник как эталон природы не может функционировать по соседству с промышленным предприятием, на котором не внедрена безотходная технология⁸.

Но вместе с тем из-за небольшого опыта, недостатка знаний об особенностях природы Севера рациональное природопользование еще не стало в этом регионе нормой. Для оптимизации взаимоотношений общества и природы нужно еще очень много сделать. Прежде всего необходимо восстановить растительный покров в тех местах, где он нарушен.

В южной тундре на огромных просторах Севера от г. Заполярного и пос. Никель на западе Мурманской области до Магадана и Анадыря уже начаты работы по восстановлению древесно-кустарниковых покровов⁹. Посадка лесов и кустарников в этой полосе относительного безлесия тундры должна проводиться прежде всего непосредственно в населенных пунктах и вокруг них в виде лесопарковых зон. Такая зона уже создается вокруг Мурманска силами специально созданного лесхоза. Лесопарковые зоны должны быть созданы вокруг других крупных промышленных центров Севера.

Кроме лесопарковых зон, вокруг городов и поселков необходимо создавать лесокустарниковые полосы, ограждающие сельскохозяйственные угодья и места отела северных оленей. Посадка таких полос, защищающих посевы кормовых трав, картофеля и овощей, уже проводится в окрестностях Воркуты, Кировска, Апатитов, Салехарда. Прибавка урожая сельскохозяйственных культур на участках, защищенных посадками, довольно велика.

Еще одна важная проблема восстановления растительности — восстановле-

⁷ Федоренко Н. П., Реймерс Н. Ф. Природа, экономика, наука. — Природа, 1974, № 3, с. 2; Федоренко Н. П., Реймерс Н. Ф. Сближение экономических и экологических целей в охране природы. — Природа, 1981, № 9, с. 3.

⁸ Семенов-Тянь-Шанский О. И., Крючков В. В. Висит дым над заповедником. — Правда, 10 октября 1980 г.

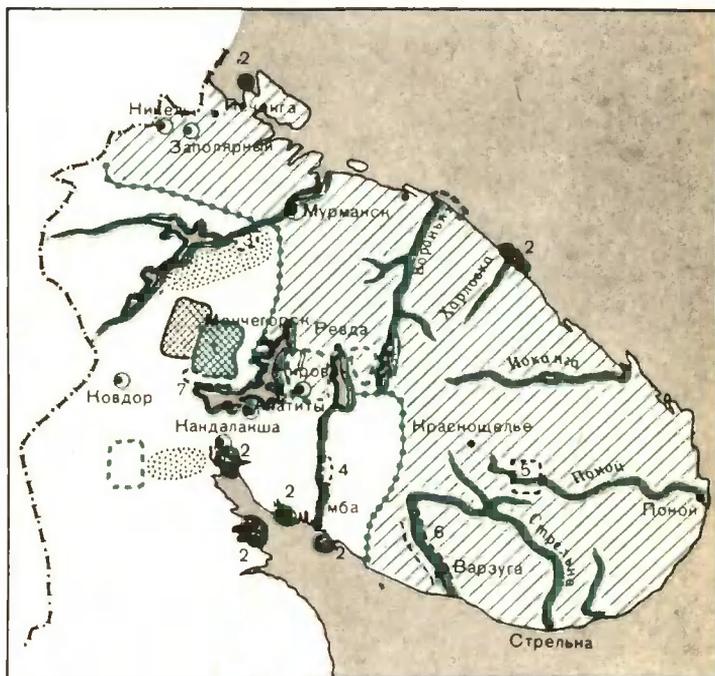
⁹ Крючков В. В. Агролесомелиорация тундры. М., 1978.

ние тундровых лишайников и кустарников в тундрах, являющихся пастбищами для северных оленей. Опыт в этом деле крайне мал, к тому же лишайники, по исследованиям В. Н. Андреева и П. А. Машинской, дают очень малый прирост — несколько миллиметров за десятилетия. Выход здесь один — на тех участках, где растительность выбита оленями, необходимо высевать многолетние травы. По сравнению с лишайниками они дают огромную массу кормов и способствуют увеличению емкости пастбищ; т. е. дают возмож-

Создание зеленых зон кормовых трав вокруг населенных пунктов, которые являются основой для развития молочного животноводства, — еще одно важное мероприятие, необходимое для оптимизации взаимоотношений природы и общества на Севере. По нашим расчетам, чтобы обеспечить к 2000 г. растущее население региона молоком, необходимо увеличить площади, засеянные кормовыми травами, не менее чем в 8—10 раз по сравнению с существующими.

Следующая группа мероприятий, ко-

Система охраняемых территорий на Кольском Севере. Лапландский государственный заповедник (1), участки Кандалакшского заповедника (2); заказники: общевидовой (3), Канозерский лесной (4), Понойский орнитопогический (5), Варзугский селужий (6), Пиренгский олений (7). Кроме того, на Кольском Севере имеется около 50 памятников природы — геологических, ботанических, гидрологических, природно-исторических.



Заповедники:

-  существующие
-  территория предполагаемого расширения

Заказники:

-  существующие
-  проектируемые

 Притундровые защитные леса

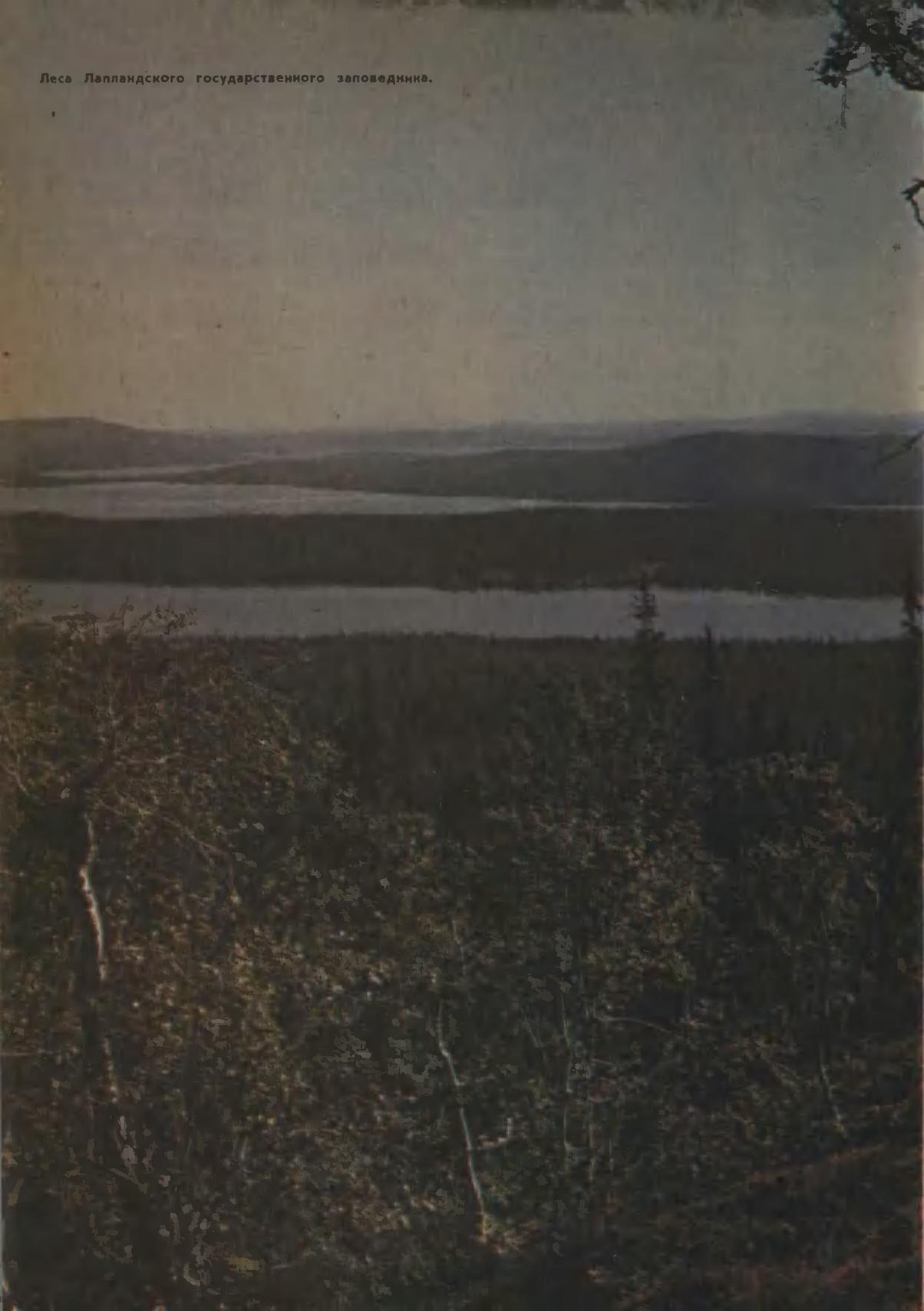
Защитные лесные полосы:

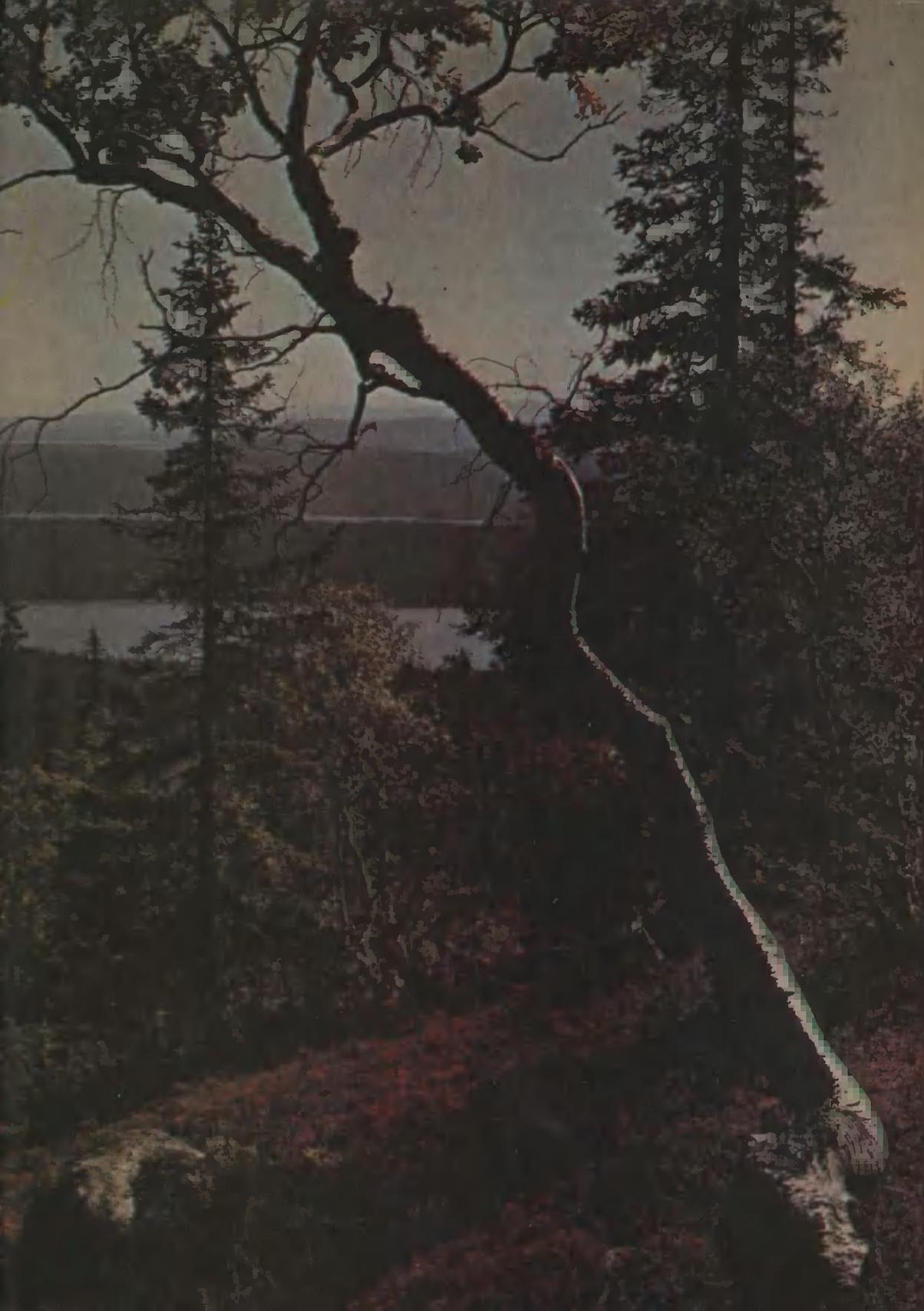
-  вдоль рек и вокруг озер
-  вокруг городов и поселков
-  Проектируемые природные парки

ность прокормиться большому числу оленей. Попыты по злужению выбитых оленьих пастбищ проводились на Мурманской опытной оленеводческой станции Министерства сельского хозяйства РСФСР и дали хорошие результаты.

которые будут способствовать рациональному природопользованию, — создание системы особо охраняемых природных территорий. В соответствии с существующим законодательством, земля, недра, леса, воды находятся в собственности государства и

Леса Лапландского государственного заповедника.





составляют единый государственный фонд. Поэтому неохраняемых природных территорий в СССР юридически нет. Однако существует и развивается сеть земельных участков и акваторий, специально выделяемых государством для особых целей, связанных с охраной окружающей человека природной среды. Это и есть особо охраняемые природные территории.¹⁰

В систему особо охраняемых территорий прежде всего входят заповедники, которые в соответствии с нашим законодательством навечно изымаются из традиционного хозяйственного использования. Заповедники должны быть окружены защитными природоохранными зонами. Возможность такая на Севере есть, в отличие от густо населенных районов средней полосы и южных районов. Если же заповедник является зеленым островом среди промышленно-техногенных территорий, то в нем неизбежно будет происходить обеднение фауны и флоры, что наблюдалось уже неоднократно. Заповедники как эталоны природы занимают в системе особо охраняемых природных территорий несколько процентов. Следующая широко распространенная форма охраняемых природных территорий — это заказники (ботанические, зоологические, геологические и т. д.). В заказниках допускается некоторое использование природных ресурсов в определенные сезоны и на определенный срок. Главное в заказниках — создание щадящей обстановки для основного охраняемого объекта.

В эту же систему охраняемых территорий включаются леса, которые должны играть большую природоохранную роль. Это прежде всего леса вдоль рек, вокруг озер, вдоль автомобильных и железных дорог, леса зеленых зон вокруг населенных пунктов и промышленных предприятий, лесополосы, горные леса, притундровые защитные леса. В настоящее время в лесах этих категорий запрещены эксплуатационные рубки, но в них возможна регулируемая охота, выпас оленей и других домашних животных. Учитывая растущую интенсивность промышленного освоения Севера, режим охраны в них должен быть усилен.

Все эти охраняемые природные территории с различными режимами и мето-

дами охраны создадут систему охраняемых территорий общей площадью 90—95%. Существование этой системы позволит получать значительные доходы при использовании биологических ресурсов региона, о чем уже говорилось выше. Так что большие площади охраняемых территорий не будут препятствовать промышленному освоению Севера и в то же время экологически уравновесят индустриальный пресс на экосистемы. С хозяйственной точки зрения, такой путь освоения Севера можно квалифицировать как индустриально-промыслово-оленьеводческий, а с пространственной — как очагово-плотной.

Однако необходимо помнить, что существование таких огромных пространств охраняемых природных территорий возможно только в условиях чистого воздуха. Поэтому в ближайшие годы нужно сократить уровень загрязнения воздуха в городах Севера до санитарных норм (там, где это еще не сделано).

Следующий этап — это дальнейшее уменьшение выбросов загрязняющих веществ в воздух, с тем чтобы в населенных пунктах были условия для существования не только лиственных, но и хвойных деревьев; об их требованиях к качеству воздуха сказано выше.

Этими мероприятиями мы добьемся реанимации экосистем, там где это необходимо, и сохраним природу для нынешнего и будущих поколений.

¹⁰ Реймерс Н. Ф., Штильмарк Ф. Р. Особо охраняемые природные территории. М., 1978; Крючков В. В., Кондратович И. И., Андреев Г. Н. Красная книга экосистем Кольского Севера. Апатиты, 1983.

Краски Дионисия и древний ледник

В. Н. Голубов, Л. П. Галдобина



Валерий Николаевич Голубов, старший инженер-геолог Производственного комбината Художественного фонда СССР. Изучает геологию месторождений природных пигментов с целью расширения ассортимента художественных красок, выпускаемых на основе этих пигментов.



Людмила Павловна Галдобина, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии Карельского филиала АН СССР. Область научных интересов — литология докембрийских осадочных пород.

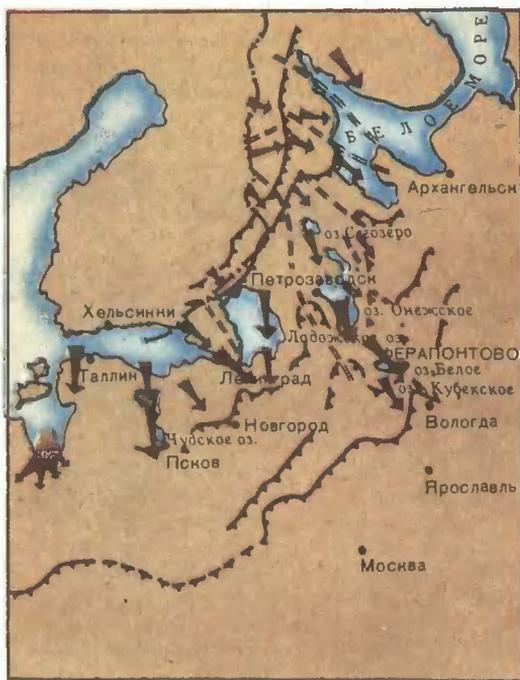
Стенные росписи собора Рождества Богородицы Ферапонтова монастыря в Вологодской области, датированные 1500—1502 гг., однозначно признаются вершиной творчества Дионисия. Ни один из исследователей этих знаменитых фресок не мог обойти вниманием использованные здесь краски. Именно эти краски, по мнению художника Н. М. Чернышева, «придают памятнику совершенно особенный колорит, отличающий его от всех существующих в СССР древних росписей... Таким своеобразием роспись всецело обязана местным минеральным краскам»¹. Это пред-

положение, впервые высказанное Чернышевым еще в 1925 г., сразу же стало аксиомой. По инициативе Чернышева ферапонтовские краски неоднократно использовались в современной фресковой и темперной живописи и при реставрации древних памятников.

Попав в 1925 г. в Ферапонтово, Чернышев собрал большую коллекцию местных природных красок: «...нежнейшие фиолетовые, розовые, белые, зеленые, интенсивно красные, вишневые, охристые, разнообразных градаций серые и совершенно изумительную черную»². Велико было удивление художника, когда после тщатель-

¹ Чернышев Н. М. Искусство фрески в древней Руси. М., 1954, с. 75—76.

² Там же, с. 76.



Палеогеографическая схема валдайского оледенения на северо-западе Европейской части СССР (по М. Е. Вигдорчки и др. с уточнениями А. Д. Лукашова и И. М. Эйдана). Максимальная стадия оледенения наступила 24—23 тыс. лет назад, минимальная — 10 тыс. лет назад. Границы разных стадий оледенения фиксируются на местности конечными моренами, состоящими из валунов и гальки.

-  Границы разных стадий оледенения
-  Осевые линии льдораздельных зон
-  Основные направления движения ледников

ного отбора множества разноцветных камешков почти все они оказались красящими. Однажды в присутствии местных крестьян Чернышев проделал такой опыт: одним из мягких камней типа сангины он нарисовал сидящую рядом девочку и раскрасил ее портрет местными красками. «По способу первобытных людей, — писал он, — окуная палец прямо в озеро, я растирал им красящий камень и пальцем же наносил краску без всякого закрепителя на бумагу. В течение двух-трех минут, к удовольствию присутствующих, работа моя была закончена»³ Разумеется, далеко не всегда горная порода легко может быть превращена в краску. Живо-

писцы прошлого для тонкого измельчения природных красок использовали каменные доски из гранита, лабрадорита и других твердых пород.

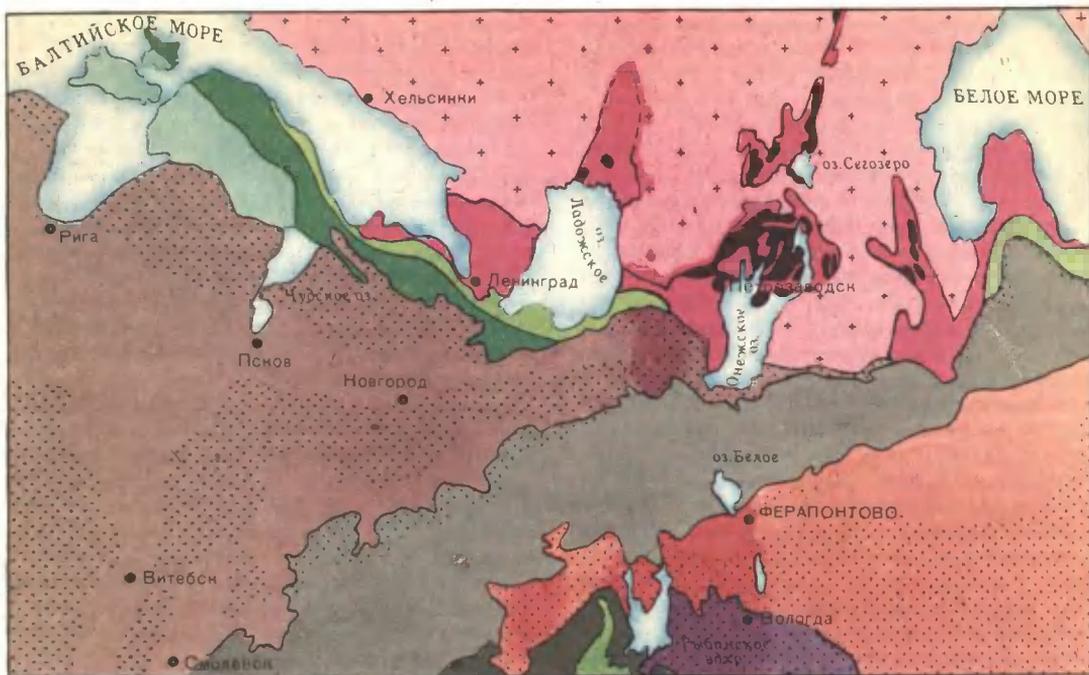
Отличительной чертой всех минеральных красок является то, что красота их оттенков более всего выявляется в натуральном, сухом, тонко измельченном виде. Это подтверждает их прямое назначение для фресковой живописи, в которой цвет высохшей краски приближается к цвету сухого порошка. Смоченная в воде краска наносилась на сырой грунт и закреплялась самой штукатуркой стены, состоящей из песка и гидрата окиси кальция (едкой извести). Именно этим можно объяснить присутствие во всех красках русской фресковой живописи большого количества кальция, обнаруженного при микрохимических анализах. Признано, что «минеральные краски... положенные по сырой штукатурке, создают своеобразную цементацию, как бы защитную броню штукатурного слоя. ...Отсюда штукатурка, не покрытая фресковой живописью, менее прочная, чем та же штукатурка, покрытая красочным слоем»⁴ В темперной живописи тонко измельченные порошки природных красок тщательно перемешиваются со смесью казеино-масляной эмульсии и яичного желтка либо с другими связующими компонентами. При высыхании цвет темперной краски мало отличим от цвета сухого порошка, на основе которого получена краска.

За те полвека, что прошли со времени первых публикаций Чернышева, вопрос о красках ферапонтовских фресок почти не обсуждался. Представлялось, что ответ уже найден. Однако, в связи с частичной реставрацией стенописей Рождественского собора летом 1975 г., искусствовед И. А. Кочетков приходит к выводу, что «конечно, Дионисий пользовался качественными привозными пигментами, а не тратил драгоценное летнее время на подбор подходящих камней по берегам озер...». Отвергая успешные работы Чернышева, автор небрежно заключает: «...эти камни в сухом виде вовсе не похожи на красители ... нет никаких сведений об использовании ферапонтовской гальки для приготовления красок ни в эпоху Дионисия, ни в более позднее время»⁵ Исходя из этого делается вывод, что Дионисий пользовался качественными заморскими пигментами, таки-

⁴ Там же, с. 79—80.

⁵ Кочетков И. А. О первоначальном колорите росписей Дионисия. — В сб.: Памятники культуры. Новые открытия. М., 1977, с. 253.

³ Там же, с. 78.



Схематическая геологическая карта северо-западной части СССР, на которой хорошо видно, что набор разновозрастных геологических образований на пути древних ледников из Карелии в сторону Ферапонтова и Вологды значительно богаче, чем на их пути в направлении Пскова и Новгорода. Этим объясняется разнообразие цветных горных пород (минеральных красок) вблизи Ферапонтова и почти полное их отсутствие в окрестностях Пскова и Новгорода.

Разновозрастные геологические образования:

- меловые глины и пески
- юрские пески, галечники, глины
- триасовые красноцветные песчаники
- пермские красноцветные песчано-глинистые отложения с прослоями медистых песчаников

- карбоновые известняки, доломиты и угленосные толщи
- девонские красноцветные песчано-глинистые отложения
- силурийские известняки и доломиты
- ордовикские песчаники, известняки, глинистые сланцы
- кембрийские песчаники и «синие глины»
- протерозойские вулканогенно-осадочные толщи (шунгитсодержащие породы)
- архейские граниты и гранито-гнейсы
- протерозойские основные интрузии (диабазы и габбро-диабазы)
- разновозрастные континентальные отложения

ми как «балкан венецианский, вохра немецкая, черлень немецкая, багор немецкий, празелень грецкая, вохра грецкая».

Таким образом, имеются два полярнопротивоположных мнения о происхождении красок, использованных знаменитым живописцем. Существуют ли дополнительные факты в пользу того или иного мнения? Да, существуют. Попытаемся объяснить природу гальки цветных пород — минеральных красок, использованных Дионисием при росписи собора Рождества Богородицы Ферапонтова монастыря, с геологических позиций.

Подобные геологические исследования проводились здесь и ранее. В 1933 г. в районе Ферапонтова монастыря работала экспедиция в составе геолога В. Т. Платонова, директора завода «Красный художник» С. И. Федина и художника Н. М. Чернышева, организованная Народным комиссариатом легкой промышленности СССР для промышленной оценки местных минеральных красок. По заключению геолога Платонова, «красящие породы представляют собой не что иное, как обломки тех цветных сланцев, песчаников и известняков, которые залегают в этом районе. Месторож-

дения этих красящих земель представляется из себя аллювиальные россыпи, образованные в результате эрозии пермских цветных осадков, имеющих большое распространение в данном районе...»⁶

В 1980 г. один из авторов этой статьи (Голубов) проводил геологические наблюдения в окрестностях Ферапонтова монастыря. Необходимо было определить возможности использования местных пород в целях расширения ассортимента художественных красок, выпускаемых Производственным комбинатом Художественного фонда СССР на основе природных пигментов. В итоге сложился тот же вывод, что и у Платонова: валуны и галька цветных пород рассматриваемого района образовались за счет размыва и механического разрушения толщи цветных горных пород. Хотя, по нашим наблюдениям, этих толщ явно было несколько. Пермский возраст данных отложений также требует корректировки.

Наши выводы основываются на багаже современных знаний о важной роли древних ледников в формировании ландшафта обширных территорий Европейской части страны. Основа этих знаний — ледниковая теория, применение которой в поисковых целях началось у нас в стране лишь в 30-е годы нашего столетия.

В геологическом прошлом Русской равнины отмечено несколько ледниковых эпох, самая последняя из которых — валдайская. Именно в эту эпоху ледниковые покровы, сползавшие со Скандинавских гор, распространялись до Валдайской возвышенности. Под огромными массами ползущих ледников сдирались целые слои подстилающих пород, которые перетирались и перемешивались, образуя морены. Там, где прошел ледник, формируются баряни лыбы, моренные равнины, конечные морены и другие экзарационные и аккумулятивные формы рельефа. Под напором льда «срезались» крупные фрагменты и блоки пород ложа, которые буквально втягивались в тело ледника и переносились на многие сотни километров. Существенная роль ледников и в формировании озерных котловин. Недаром цепочки озер в Карелии тянутся преимущественно с севера и северо-запада на юг и юго-восток. Состав обломков горных пород, переносимых ледником, почти полностью дублирует состав тех толщ, по которым двигался ледник. При отступании ледника, в про-

цессе его таяния, на поверхности земли остаются скопления валунов и гальки горных пород, перенесенных ледником на десятки и сотни километров от мест их коренного залегания.

Среди горных пород мощных ледниковых валунно-галечных отложений в окрестностях Ферапонтова монастыря, наряду с обилием осадочных пород палеозоя (известняки, алевролиты, аргиллиты и др.), мы обнаружили значительный набор горных пород магматического происхождения (граниты, диабазы, габбро-диабазы и др.) и метаморфические породы (кварц-серицитовые и графитовые сланцы, гнейсы, шунгитовые породы и др.). Магматические и метаморфические породы совершенно нехарактерны для геологических образований осадочного чехла Восточно-Европейской платформы. Но эти породы развиты в пределах Балтийского кристаллического щита, граница с которым проходит примерно в 200 км к северо-западу от Ферапонтова монастыря. На основании изучения состава валунов и гальки стало ясно, что коренные источники обломочного материала, в том числе и источники местных минеральных красок, необходимо искать на пути древнего ледника.

Изучив схему распространения валдайского оледенения на северо-западе Европейской части СССР, мы предположили, что коренные источники большей части красок, представленных в окрестностях Ферапонтова монастыря, следует искать в пределах Карелии. По рекомендации специалиста по литологии докембрийских отложений Карелии Л. П. Галдобиной, в летние периоды 1981—1982 гг. Голубовым были осмотрены выходы природных пигментов в береговых обнажениях оз. Сегозеро, заонежские месторождения шунгитов, озерные и ледниковые образования на побережье Онежского озера в районе Петрозаводска. Оказалось, что по составу и основным тонам окраски галька цветных пород из окрестностей Ферапонтова монастыря почти полностью совпадает с образцами горных пород, собранных в Карелии.

Следы движения ледника из Карелии в сторону Ферапонтова и Вологды четко зафиксированы валунами и галькой шунгитовых пород и шунгитосодержащих сланцев довольно редких в природе, но широко развитых в протерозойских отложениях Карелии. Эти породы по техническим свойствам и происхождению аналогичны природным сажам и хорошо различимы

⁶ Чернышев Н. М. Цит. соч., с. 78.

на местности благодаря интенсивной черной окраске. Месторождения шунгитовых пород и шунгитосодержащих сланцев развиты в Заонежье в пределах северо-западного побережья Онежского озера. В зависимости от структурных и вещественных различий принято выделять до пяти типов шунгитовых пород и шунгитосодержащих сланцев. Соответственно меняется и их окраска от серой до интенсивно черной с холодным металлическим блеском⁷. У Ферапонтова монастыря мы отметили не менее трех тонов окраски шунгитовых пород от серого до интенсивного черного с холодным оттенком. Очевидно, Дионисий мог получать свою «совершенно изумительную черную краску», вызвавшую восторг Чернышева, и серые краски измельчением гальки шунгитовых пород разных типов.

На основании микрохимических исследований красного слоя древнерусской фресковой живописи А. В. Виннер отмечает среди черных красок на стенах Ферапонтова монастыря чернь минеральную и чернь древесную⁸. Вполне возможно под минеральной чернью предположить шунгитовую черную краску. История использования шунгитовых пород для изготовления красок освещена в книге П. А. Борисова «Карельские шунгиты»⁹. В XIX в. красочный завод Кенига в Петербурге изготовлял из шунгита черные краски трех марок: черную для ведомства путей сообщения, типографскую и лучший сорт — «слоновую кость» — для художников. В 1948 г. Ленинградский завод художественных красок кустарно добывает в Шуньге несколько тонн шунгита и выпускает прекрасную по своему черному тону художественную краску «природная черная — шунгит». Сопоставление этой краски с черной краской ферапонтовских фресок позволяет нам предположить, что упомянутые горные породы могли быть использованы Дионисием для приготовления красок.

На стенах Ферапонтова монастыря отмечаются различные краски зеленого цвета: светло-зеленая земля, зеленая земля, темно-зеленая земля¹⁰. Зеленая земля, называемая также празеленью, зеле-

ной вохрой, празеленью немецкой, празеленью грецкой, была общераспространенной краской. Натуральные земляные краски различных оттенков от светло-зеленого до темно-зеленого представляют собой в основном силикаты типа глауконита, авгита, роговой обманки, хлорита или продукты их выветривания. Сырьем для фресковых красок зеленого цвета различных оттенков могли служить многочисленные валуны и галька диабазов, габбро-диабазов зеленой, серовато-зеленой окрасок, а также тонкозернистые глауконитовые алевролиты и аргиллиты серовато-зеленой и табачно-зеленой окрасок. Рентгеноструктурные исследования последних лет показали, что глауконит был одним из наиболее часто употребляемых в русской иконописи зеленых пигментов¹¹. При исследовании методом инфракрасной спектроскопии двух образцов зеленой краски со стен Ферапонтова монастыря В. Я. Бирштейн отмечает, что краски представляют собой смеси нескольких минералов, в том числе каолинита, кальцита и малахита. Этим же автором делается вывод, что «зеленый цвет пигмента, скорее всего, обусловлен присутствием малахита»¹². Отдельные признаки малахита в некоторых пробах зеленых красок росписей монастыря отмечают также методом рентгенофазового анализа¹³. Полиминеральный характер зеленых красок росписей, а также присутствие каолинита — продукта выветривания полевых шпатов, свидетельствует о возможности использования для получения фресковых зеленых красок диабазов и габбро-диабазов. Эти интрузивные породы, состоящие в основном из полевых шпатов (15—20%) и силикатов зеленой окраски (70—75%), в тонкоизмельченном порошке имеют различные тона от светло-зеленого до зеленого, нередко с нежным оливковым оттенком.

Существуют ли предпосылки для нахождения малахита в окрестностях Ферапонтова монастыря? Оказывается, существуют. Образования пермской системы (уфим-

⁷ Шунгиты Карелии и пути их комплексного использования. Петрозаводск, 1975.

⁸ Виннер А. В. Фресковая и темперная живопись. Вып. II. Материалы и техника древнерусской стеной живописи XI—XVII веков. М.—Л., 1948.

⁹ Борисов П. А. Карельские шунгиты. Петрозаводск, 1956.

¹⁰ Виннер А. В. Упом. соч., с. 123—124.

¹¹ Гренберг Ю. И. Технология станковой живописи. М., 1982.

¹² Бирштейн В. Я. Исследование некоторых пигментов росписей Рождественского собора в Ферапонтово с помощью ИК-спектроскопии.— В реф. сб. ВЦНИЛКР (8сес. центр. научн.-иссл. лаб. по консервации и реставр. музейных худ. ценностей), вып. 2, М., 1976.

¹³ Наумова М. М. Исследование состава синих и зеленых пигментов некоторых памятников древнерусской темперной (XIV—XV вв.) и монументальной (XVI в.) живописи методами рентгенофазового анализа.— В реф. сб. ВЦНИЛКР, вып. 2, М., 1976.

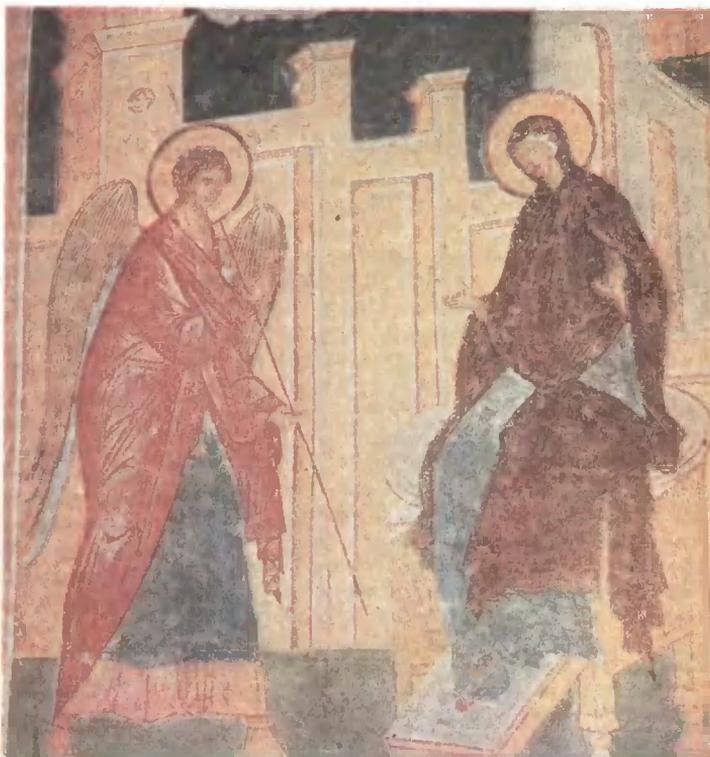


Галька некоторых цветных горных пород (минеральных красок), собранная в окрестностях Ферапонтова монастыря. Богатство оттенков этих красок лучше всего выявляется в натуральном сухом тонкоизмельченном виде.

Темперные выкраски некоторых минеральных ферапонтовских красок, сделанные художником Н. В. Гусевым.



Фрески Ферапонтова монастыря. Вверху — фрагмент «Страшного суда», внизу — сцена из акафиста богородицы.



ский ее ярус) в непосредственной близости от монастыря представлены красной цветной континентальной толщей конгломератов, песчаников, мергелей и глин с очень характерными медистыми песчаниками¹⁴. Сформировались эти отложения в результате сноса обломочного материала с Урала в далекую пермскую эпоху. Медистые песчаники образовались за счет разрушения коренных уральских месторождений меди. Технология получения малахита из медистых песчаников весьма проста, и они могли быть исходным сырьем для ярко-зеленой (малахитовой) фресковой краски росписи Ферапонтова монастыря. В зонах окисления выходов медистых песчаников следует ожидать скопления ярко-синего минерала азурита (основной углекислой соли меди), который использовался в качестве основного синего пигмента для росписей монастыря¹⁵. Древнерусские живописцы использовали азурит также в смеси с другими пигментами, в том числе и с зелеными. Не исключено, что во фресках собора Рождества Богородицы будут обнаружены признаки вивианита, использование которого русскими живописцами для получения синих красок отмечено уже в XII в.¹⁶ Минерал вивианит (фосфорнокислая соль закиси железа), известный также под названиями синяя болотная руда, железная синь, синяя железная земля, синяя охра, распространен в болотах у нас на Севере.

Наличие в окрестностях Ферапонтова монастыря проявлений природных пигментов зеленого, ярко-зеленого и синего цветов и фиксация их микроисследованиями в росписях монастыря ставят под сомнение исключение, сделанное Чернышевым для ярко-зеленой и лазурной красок Дионисия. Чернышев, вероятно, ошибочно полагал, что синие краски Дионисий получал из лазурита, и сделал заключение, что ярко-зеленая и синие краски являлись привозными. Неверным представляется и мнение Кочеткова об отсутствии на русском Севере красителей синего цвета.

Сырьем для фиолетовых и коричневых фресковых красок в окрестностях монастыря могли служить не менее многочисленные, по сравнению с шунгитовыми породами, валуны и галька аргиллитов, алевролитов, принесенных ледником из

Карелии и четко фиксирующихся на местности за счет своей интенсивной фиолетовой и коричневой окрасок. Тонким измельчением этих пород мы получили коллекцию пигментов фиолетовых тонов с теплым, холодным и красновато-коричневым оттенками и коричневых тонов различных оттенков. Некоторые из пород фиолетовой и коричневой окраски отмечены нами в коренном залегании в береговых обнажениях Сегозера среди докембрийских образований Карелии.

Фресковые краски нежных розовых тонов мы получили тонким измельчением собранных у Ферапонтова монастыря гальки и валунов аргиллитов и алевролитов повышенной карбонатности, имеющих коричневую окраску с розовым оттенком. Красные краски довольно большой интенсивности, приближающиеся по цвету к английской красной, можно получать из гематита и гематиновых сланцев, которые представлены галькой или мелкими валунами и в недробленном виде имеют красновато-бурую окраску. Прослой гематита и гематиновых сланцев весьма характерны для докембрийских (точнее, ятулийских) образований Карелии. Исследования одного образца красного пигмента из росписей Ферапонтова монастыря с помощью инфракрасной спектроскопии показали, что в пигменте имеются признаки гематита и каолинита¹⁷. Отсюда следует, что красный пигмент может быть получен из сланцев каолинит-гематитового состава.

Желтые краски в окрестностях монастыря встречаются в виде обломков и гальки желваковидных железистых образований, которые весьма характерны для глинистых кор выветривания карбонатных толщ каменноугольной системы, развитых на пути ледника. Эти образования гетит-гидрогетит-каолинитового состава представляют собой типичные золотистые и светлые охры с разнообразными оранжевыми и коричнево-желтыми оттенками. Светлые охры для фресковых красок могут быть получены также из известняков и доломитизированных известняков яркой желтой окраски, типичных для разреза толщ карбоната возраста. Сырьем для красок желтого цвета могли служить и многочисленные прослои глин среди тех же образований уфимского яруса, а также среди ледниковых моренных отложений в окрестностях монастыря. Из глинистых прослоев моренных отложений Карелии уже

¹⁴ Короновский Н. В. Краткий курс региональной геологии СССР. М., 1976.

¹⁵ Наумова М. М. Упом. соч.

¹⁶ Янин В. Л. — Вестник АН СССР, 1980, № 1, с. 112.

¹⁷ Бирштейн В. Я. Упом. соч.

добывают высококачественные пигменты типа сиены натуральной, весьма близкие по цвету сухого порошка к золотистым охрам с оранжевым оттенком.

В процессе геологических наблюдений 1980 г. нами не ставилась задача обнаружить сырьевые источники всей палитры красок Дионисия. Не были мы знакомы и с результатами микроисследований зеленых и синих пигментов росписей монастыря. В связи с этим некоторые геологические предпосылки даются нами лишь на основании обобщения литературных данных и, естественно, требуют некоторых уточнений на местности. Однако из анализа изложенных фактов вполне очевидно, что в окрестностях Ферапонтова монастыря действительно имеется богатая природная коллекция минеральных красок, которыми свободно мог пользоваться такой новатор живописи, как Дионисий.

О новаторском подходе к росписи собора Рождества Богородицы свидетельствует даже оригинальность приготовления штукатурки, и особенно левкаса,— верхнего ее слоя, который по своему составу «значительно отличается от левкаса фресок Московских и Ярославских XVI—XVII вв. и даже Афонских того времени»¹⁸. Опыт и авторитет признанного мастера содействовали Дионисию в свободе эксперимента и выбора материалов при выполнении ответственной росписи собора. В период расцвета русской стенописи наши древние мастера и к технологии, и к материалам подходили творчески, в отличие от ремесленного подхода к ним в позднейшее время. Именно для этого периода отмечается преобладание местных материалов. Данный период развития русской фрески является и временем становления ее технологии. Технологические познания того времени недостаточно фиксировались записями и распространялись в основном как путем практической работы, так и в устных преданиях. Отсюда и творческие эксперименты, и большое разнообразие приемов, вызванные как индивидуальностью мастера, так и различными местными условиями. Так и появился памятник стенописи — вершина творчества Дионисия, в котором воплотились талант и мастерство живописца, использовавшего богатую коллекцию минеральных красок, собранную древним ледником.

В настоящее время мастерство древ-

него живописца возрождено не только в памяти потомков, но и в работах современных художников, бережно относящихся к опыту мастеров прошлого. Ярким примером могут служить работы Н. В. Гусева, уже около 30 лет работающего над копиями стенописей Дионисия. На многих выставках и в различных изданиях опубликованы сделанные им копии. Самое ценное в этих работах, что они выполнены природными минеральными красками, собранными в окрестностях Ферапонтова монастыря, с тем богатством оттенков, который наблюдается во фресках Дионисия. Именно этот набор красок и создает ту неповторимость росписи собора Рождества Богородицы, которая отличает ее среди сохранившихся памятников древнего искусства.

Работы художника — нашего современника служат ярким подтверждением идей Чернышева о местной природе красок, использованных Дионисием. Особый колорит, отличающий росписи Ферапонтова монастыря от всех существующих в СССР древних росписей, обусловлен большим разнообразием цветных пород, обломки которых собраны ледником на его пути, и в первую очередь в пределах Карелии. Ни Новгородские, ни Псковские монастыри не могли быть расписаны в таком наборе минеральных красок. В эти районы древний ледник двигался из областей, где преобладают однотонные граниты и нет горных пород с широкой гаммой окраски. Следует отметить, что для производства минеральных красок нецелесообразно использовать гальку и валуны из окрестностей Ферапонтова монастыря. Для промышленности значительно интереснее коренные источники этих красок в Карелии и на пути движения древнего ледника со Скандинавских гор в сторону Ферапонтова.

В процессе работы над статьей из устных сообщений сотрудников Всесоюзного научно-исследовательского института реставрации нам стало известно, что краски Ферапонтова монастыря исследуются с помощью современных методов и аппаратуры. Но, к сожалению, изучаются только пигменты самих росписей. При этом отмечаются высокие качественные характеристики изучаемых фресковых красок, и на этом основании делается вывод о привозном характере красок. Мы полагаем, что только сравнительный анализ минерального и химического состава, а также технологических свойств фресковых и местных минеральных красок поможет окончательно решить вопрос, какими красками пользовался Дионисий.

¹⁸ Георгиевский В. Т. Фрески Ферапонтова монастыря. СПб, 1911, с. 45.

Козволюция человека и биосферы: кибернетические аспекты

Н. Н. Моисеев



Никита Николаевич Моисеев, член-корреспондент АН СССР, заместитель директора Вычислительного центра АН СССР. Основные научные интересы связаны с использованием электронных вычислительных машин в научных исследованиях. Автор ряда книг и монографий, в том числе: «Математика ставит эксперимент. М., 1978; Асимптотические методы нелинейной механики. Изд. 2-е. М., 1980; Математические методы системного анализа. М., 1981; Человек, среда, общество. М., 1982. В «Природе» опубликовал статью (совместно с В. В. Александровым): Модель климата и глобальная экология (№ 9, 1981).

ЭВОЛЮЦИЯ И ГЛОБАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Экология по-гречески — наука об изучении собственного дома, об условиях обитания тех, кто населяет этот дом. Чаще всего этот термин употребляется по отношению к сообществам животных, их популяциям и т. д. Но по мере развития техники, и прежде всего коммуникаций, становится уместным говорить о человечестве как о едином целом, и потому во второй половине XX в. стали говорить также и об экологии человечества. Постепенно стала складываться новая научная дисциплина — глобальная экология. Ее центральная проблема, как и в любой области экологии, — изучение условий обитания, и прежде всего условий стабильности существования человечества как вида в его доме, который называется планета Земля. Но этот дом все время изменяется действиями людей, живущих в нем. Так возникает представление о козволюции человека и его дома — того мира, который его окружает, т. е. биосферы.

В последние десятилетия интенсивность антропогенных воздействий на биосферу стала возрастать столь быстро, что разделение эволюционных и экологических процессов становится все более и более условным: временные характеристики

этих процессов оказываются одного порядка.

С точки зрения кибернетики, основные вопросы эволюции — это проблемы формирования механизмов эволюции, вскрытие причин, приводящих к появлению новых качественных особенностей изучаемых процессов. Те же вопросы возникают и в глобальной экологии. Но к ним добавляется еще один важный класс проблем. В эволюционных теориях ограничиваются лишь рассмотрением естественных причин. В глобальной экологии центр тяжести постепенно перемещается на изучение механизмов, формирующихся вследствие действий людей, т. е. теперь речь уже идет об изучении процессов, являющихся в той или иной степени управляемыми. Это обстоятельство, позволяя использовать формальный инструментарий теорий эволюции, вносит одновременно целый ряд новых точек зрения, требующих нетрадиционного объединения социальных и эволюционистских теорий. Такое объединение сводится, прежде всего, к описанию всей совокупности механизмов, определяющих характер изменения экологических условий существования человечества, включая механизмы социальной природы, и изучению характера взаимного влияния природных и социальных факторов.

В основе эволюционного учения

лежат три принципа: изменчивость, наследственность, отбор. Они дают достаточно общую позицию для рассмотрения всей совокупности интересующих нас процессов — все зависит от того смысла, который мы вложим в эти три сакраментальных слова: изменчивость, наследственность, отбор! Подобно тому как понятия «свобода, равенство и братство» в разных частях света в разные времена понимались по-разному, так же и исходные позиции анализа эволюционных процессов могут приводить к совершенно разным концепциям развития живой материи, и его важнейшей составной части — человечества. Поэтому проблема выбора того ракурса, в котором нам предстоит изучать эволюционный, или, если угодно, экологический процесс, названный нами козволюцией человека в биосфере, состоит, прежде всего, в той интерпретации ключевых слов эволюционной теории, которую мы собираемся использовать.

В самом деле, для дальнейшего изложения нам важно заметить, что любые законы неживого мира — вариационные принципы, из которых следуют законы сохранения в механике, электродинамике и других областях физики, второй закон термодинамики, закон минимума диссипации энергии¹ и многие другие, — можно описать в терминах эволюционной теории, поскольку все эти законы являются, по сути дела, теми или иными принципами отбора реальных движений, реальных траекторий из числа виртуальных, т. е. мысленно возможных.

«КЛАССИЧЕСКИЕ» МЕХАНИЗМЫ ЭВОЛЮЦИИ

Изменчивость — без этого свойства говорить об эволюции невозможно: изменчивость создает то «поле» возможностей, из которого впоследствии отбор, точнее, механизмы отбора отфильтровывают те формы существования, те формы движения, которые будут реализованы природой. Другими словами, любой эволюционный процесс должен содержать стохастические составляющие. Однако проявление сто-

хастичности окружающего мира может принимать самые разнообразные формы и, следовательно, порождать различные типы механизмов. Точно так же и механизм наследственности, если его не конкретизировать, может пониматься очень широко.

Наиболее четко понятия «изменчивость» и «наследственность» определены в эволюционном учении — накопление признаков, передаваемых по наследству, определяет тот исходный материал, который подвергается затем давлению отбора. Происходит определенная фильтрация этих изменений. Вот этот механизм обычно и принято называть эволюционным механизмом Дарвина. Его легко формализовать на демографическом уровне, т. е. на примере моделей популяционной динамики и эволюции ее характеристик.

Согласно классической схеме, в генотипах возникают изменения. Они-то и дают материал для естественного отбора.

К сожалению, палеонтология нам редко дает промежуточные формы; в процессе селекции и искусственного отбора не возникло еще ни одного нового вида живых существ: все кошки или собаки, как бы они ни отличались по своему внешнему виду, размеру и т. д., принадлежат, тем не менее, к одному и тому же виду. Наряду с медленными изменениями существуют и быстрые изменения генотипа, которые приводят к очень быстрой перестройке. Специалистам в области молекулярной биологии известны такие мутации, при которых происходит выпадение части ДНК (точнее, сателлитной ДНК). Поскольку процесс эволюции живых видов — это не что иное, как процесс изменения генетического аппарата, то спонтанная перестройка сателлитной ДНК должна приводить и к качественной перестройке живого организма.² И в тех случаях, когда происходит выпадение части сателлитной ДНК, присутствуют все те же три кита эволюционного процесса: изменчивость, наследственность, отбор. Случайными факторами определяется «выпадение» части сателлитной ДНК; возникновение нового качества открывает новый ряд непрерывно повторяющихся свойств, и наконец отбор — естественный отбор, по Дарвину, — решает вопрос о целесообразности сохранения этого нового качества.

При достаточно общей трактовке понятий «изменчивость», «наследственность» и «отбор» любое изменение, лю-

¹ Впервые этот принцип сформулировал, вероятно, Л. Онсагер в 1931 г. Я думаю, что наиболее точная формулировка этого важнейшего принципа отбора была бы следующей: если закон сохранения допускает некоторое множество возможных развитий изучаемого процесса, то реализуется то, которому отвечает минимум диссипации энергии (или минимум роста энтропии).

² По этому поводу существует афоризм: «первая птица вылетела из яйца динозавра».

бая эволюция является дарвиновской. Однако механизмы, реализующие процесс развития, могут быть весьма различными. Условимся различать классические и бифуркационные механизмы эволюции. Первые характерны медленным накоплением небольших изменений. Второй тип механизмов обеспечивает быстрые, практически скачкообразные изменения эволюционирующей системы.

Мне представляется очень важным постепенное создание общего языка, охватывающего эволюционные процессы самой разной физической природы. И значение подобного расширения смысла многих понятий не только общепhilosophическое. Оно важно и с чисто прагматических позиций: аналоги в структурных схемах механизмов могут оказаться важнейшими индикаторами при выборе направлений экспериментального поиска.

Эволюция — это прежде всего создание новых структур; эволюция — это переход от одних квазистационарных состояний к другим, которые могут быть не очень близкими к исходным.³ И в самых разных научных дисциплинах мы сталкиваемся с проблемами образования подобных структур: и в гидродинамике, и в теории биологических макромолекул, в океанологии, теории климата и т. д. Образование новых видов в биологии — это явления, вероятно, того же порядка. И, сопоставляя подобные процессы, мы видим, что в них всегда присутствуют два класса механизмов. Один характерен медленным накоплением небольших изменений. Другой — быстрым изменением состояния и организации развивающейся системы. Термин «бифуркационный» я употребил по аналогии с языком теории динамических систем. Приведем один пример, показывающий законность употребления этого термина.

Еще в XVIII в. Эйлер рассмотрел классическую задачу об устойчивости нагруженной колонны. Представим себе, что вертикальная цилиндрическая колонна нагружена сверху некоторым грузом. Если груз маленький, то единственное положение равновесия этой колонны прямолинейное. Предположим теперь, что мы начали медленно увеличивать этот груз. Начнет происходить медленная эволюция напряженного состояния колонны. На первых порах никаких качественных изменений

происходить не будет. Благодаря стохастичности нашего мира, колонна все время будет подвергаться действию внешних возмущений случайного характера. Каждое из этих возмущений будет приводить колонну в колебательное состояние. Колебания будут происходить около положения равновесия и в силу естественного демпфирования будут постепенно затухать. Внешне колонна будет сохранять свое прямолинейное состояние.

Однако ситуация коренным образом изменится, когда нагрузка достигнет некоторого критического значения. Как это установил еще Эйлер, существует некоторое критическое значение нагрузки, при котором прямолинейная форма равновесия потеряет свою устойчивость. У нее возникнут новые состояния равновесия, причем не одно, а бесконечно много. Состояния будут представлять собой поверхность вращения, образованную полуволевой синусоиды. Теперь эти затухающие колебания будут происходить около нового положения равновесия, но предсказать заранее, вокруг какого из положений равновесия — вокруг какой из образующих поверхности вращения — будет колебаться колонна, мы не сможем в принципе, ибо это зависит от структуры внешних возмущений, а они носят случайный характер.

Описанный механизм является прототипом эволюционных механизмов спонтанного, катастрофического характера, приводящего к быстрым перестройкам организации эволюционирующей системы.

Подобные механизмы мы и называем бифуркационными механизмами эволюции. Однако подчеркнем еще раз всю условность подобной терминологии. В самом деле, в спонтанном случае присутствуют все три компонента любого эволюционного процесса. Прежде всего, присутствует изменчивость. Здесь она появилась в генерировании случайных внешних возмущений. Именно они ответственны за новую форму равновесия, которую примет система после прохождения бифуркационного состояния.

Поскольку в общем случае нам неизвестно исходное состояние (организация) эволюционирующей системы, то явлению изменчивости, т. е. синониму стохастичности, мы обязаны необратимостью эволюционного процесса. Из подобных же рассуждений следует разрешение спора о конвергенции и дивергенции в развитии живой материи. Из условия необратимости следует и принципиальная невозможность конвергенции.

³ Приставка «квази» означает, что характерное время изменения столь велико, что в рамках используемого приближения состояние можно считать стационарным.

В изложенном примере присутствует также и наследственность. Ее следует трактовать как проявление памяти: каждое новое состояние определяется предшествующими и структурой внешних воздействий. Наконец, «давление отбора». Законы физики — принцип минимума потенциальной энергии — выделяет множество возможных состояний равновесия.

Используемый язык и изложенные схемы эволюционных механизмов не противоречат известному экспериментальному материалу и позволяют изучать разнообразные процессы эволюционной природы с единых позиций.

ГЛОБАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Изучение глобального экологического процесса становится насущной необходимостью для человечества. Оно превращается и однажды превратится, если, конечно, не произойдет ядерного катаклизма и человеческая цивилизация сохранится на Земле, в одно из основных направлений исследовательской деятельности. И биосфера в этом случае неизбежно должна превратиться в сферу разума — в ноосферу, ибо поддержание экологической стабильности потребует от человечества всех его интеллектуальных и экономических усилий.

Эти мысли далеко не новы. Около полувека тому назад В. И. Вернадский предложил общую картину развития внешней оболочки нашей планеты. Если принять факт возникновения жизни на Земле в качестве эмпирического обобщения, то мы вступим в русло закономерных предопределений. Возникновение газовой оболочки, появление и смена биосфер, заполнение жинью всех уголков нашей планеты, развитие и усложнение форм жизни — все это многообразно явлений — закономерные проявления единого эволюционного процесса. Появление человека — это также одно из звеньев единого закономерного процесса развития планеты Земля. Развитие этой высшей формы жизни, ее распространение, ее всеобъемлющий характер также неизбежно должны привести к возникновению ноосферы. Человечество, способное познать себя, способное сделатья хозяином планеты, превратив ее в свой собственный дом, должно однажды принять на себя и ответственность за его дальнейшее развитие. Возникновение ноосферы столь же закономерно, как и появление на Земле мыслящего существа — человека.

Но возникновение ноосферы — это уже не простой эволюционный процесс, порожденный слепыми силами природы и ее стохастичностью, — это порождение разума человека, он должен основываться на глубоко продуманных и аргументированных действиях людей, на специальной программе научных исследований. И первым этапом этой программы должно быть, вероятно, рассмотрение глобального экологического процесса с позиций общей эволюционной теории, попытка понять, какую роль играют в этом процессе те общие механизмы эволюции, о которых шла речь выше.

Глобальный экологический процесс следует рассматривать, по-видимому, как естественный этап развития биосферы, отличающийся от предыдущих тем, что к числу внешних воздействий добавляются еще воздействия антропогенного характера, интенсивность и мощность которых становится все более и более сравнимой с мощностью процессов естественной природы.

Под действием причин естественной и антропогенной природы в системе, которую мы будем пока называть биосферой, — в сферу разума она еще, к сожалению, не превратилась — постепенно накапливаются те или иные изменения: увеличивается концентрация углекислоты в атмосфере, изменяется структура биоты, увеличивается радиационный фон и вместе с ним интенсивность мутагенеза и многое и многое другое. Биосфера сегодня, сохраняя основные черты состояния вчерашней биосферы, уже не является ею, и этот процесс необратим, так же как и любой эволюционный процесс. И напервое, первый шаг в теории ноосферы — это изучение тех мелких изменений, которые непрерывно происходят в биосфере. Очень важно при этом выделить факторы антропогенного характера и изучить их влияние на характеристики биосферы.

Как построить подобные исследования? Что можно взять в качестве отправной позиции? Как увязать все те многочисленные взаимовлияющие факторы, которые определяют содержание процесса эволюции биосферы? Я убежден, что единственный путь, не имеющий альтернативы, — это путь математической имитации. Это единственный способ увидеть проблему в целом, получить не только качественные, но и количественные оценки. Подобные системы моделей должны завязать в единое целое и процессы, протекающие в биоте, и эволюцию климатических характеристик,

и развитие антропогенных нагрузок на биосферу...

Как ни трудны и фантастичны, казалось бы, подобные замыслы, без их реализации, построить теорию ноосферы, теорию, которая могла бы вырабатывать практические рекомендации, вряд ли возможно. Изучение глобальных процессов с использованием современных средств математики и вычислительной техники, несмотря на все очевидные трудности, сделалось велением времени. Такие исследования уже начаты — прежде всего в Советском Союзе и США.

Несмотря на то что работы в области математического моделирования глобальных экологических процессов только начаты, целый ряд известных фактов получил свое новое и, главное, количественное освещение, таких как, например, закон Воейкова — «тепло на Севере — сухо на Юге». Мы сегодня способны ответить и на целый ряд экзотических вопросов. Например, с помощью глобальных моделей можно оценить, насколько более влажными станут аридные зоны Южного полушария, если в результате перекрытия пролива Дрейка исчезнет Циркумполярное течение.

Значительно больший интерес имеют, конечно, конкретные вопросы нашей сегодняшней практики. Приведу лишь два примера, показывающих возможности уже созданного инструментария. Одна из самых волнующих проблем — это проблема роста концентрации углекислоты в атмосфере. В прошлом году сотрудники Вычислительного центра АН СССР В. П. Пархоменко и Г. А. Стенчиков установили существенно нелинейный характер последствий увеличения ее концентрации. Так, например, рост средних температур оказывается значительно более медленным, чем это предсказывалось линейной теорией. Сответственно с этим и степень аридизации наших степей, вероятно, окажется меньше ожидаемой. Т. М. Тарко, опираясь на модели биоты, смог оценить изменения продуктивности биоты в различных районах земного шара для целого ряда сценариев увеличения концентрации антропогенной углекислоты. В своих расчетах Тарко опирался на те распределения температур и влажности, которые были получены с помощью глобальной климатической модели.

Итак, становится все более и более очевидным, что построение сложных многомерных математических моделей — это один из путей создания инструментария спонтанно возникающей дисциплины — теории ноосферы.

Но более или менее очевидно, что, идя по этому пути, мы можем изучать лишь те механизмы эволюционного изменения биосферы, которые связаны с медленным накоплением новых количественных особенностей.

В настоящее время, может быть, именно эти механизмы и представляют основной практический интерес. Они позволяют обнаружить ближайшие последствия изменения характера антропогенных нагрузок на биосферу. Но уже сегодня человечество обязано думать и о долгосрочной перспективе. Поэтому нас в неменьшей степени интересуют и те эволюционные механизмы, которые мы условно назвали бифуркационными.

В предыдущем разделе я остановился на описании их классической схемы. При определенных значениях характеристик системы нарушается однозначный ход эволюции, возникает бифуркация. Это значит, что начиная с этого момента эволюционный процесс может идти по нескольким каналам. Мы видели, что как только нагрузка на колонну в задаче Эйлера превзойдет некоторую критическую величину, у системы (т. е. у колонны) возникает сразу бесчисленное количество возможных форм равновесия. Это множество возможных продолжений эволюционного процесса является свойством системы — оно определяется ее природой, т. е. физическими законами. А вот какая из этих возможных форм будет реализована — зависит от внешних причин, которые носят случайный характер. Поэтому заранее предвидеть, какой из путей развития будет реализован, мы не можем.

Точно так же и при анализе эволюции биосферы мы все время стремимся изучить зависимость ее параметров от той нагрузки, которую оказывает на нее человеческая деятельность. С помощью методов машинной имитации, о которой мы говорили, можно уловить лишь некоторые тенденции. Но как узнать, не вступила ли биосфера на качественно новый этап своего развития? Не начался ли некоторый необратимый процесс?

Трудности анализа состоят еще и в том, что антропогенные нагрузки накладываются на естественные факторы, формирующие эволюцию. Мощь человечества, как бы велика она ни была сегодня, не способна уничтожить биосферу. Но ее нагрузки могут явиться спусковым механизмом для относительно быстрого перехода биосферы в новое квазистационарное состояние. И условия этого состояния могут

оказаться неприемлемыми для существования человеческой цивилизации в современном смысле этого слова.

История нашей планеты показывает, что подобные катаклизмы уже не раз происходили, и качественная перестройка биосферы приводила к исчезновению большого количества животных и растений.

Как подойти к проблемам подобного рода? Какие для этого нужны методы? Где сегодня лежат эти критические состояния? На все подобные вопросы ответить мы пока не можем.

Конечно, кое-что известно. Относительно простой расчет показывает, что понижение средней температуры атмосферы на $3-4^{\circ}$ приведет к образованию сплошного (или, осторожнее, почти сплошного) ледяного покрова. Повышение средней температуры на $4-5^{\circ}$ приведет также к катастрофическим условиям: Антарктида начнет необратимо таять и т. д.

Границы наших возможностей «бездумного расточительства» не так уж далеки, как хотелось бы думать. Как бы ни развивалась наука, какие бы уточнения в определении границ гомеостазиса человечества ни были бы ею очерчены, неизбежно предстоит переход на «режим экономии». Народам предстоит вести определенную демографическую политику, приспособлять свои потребности к условиям ограниченности ресурсов и многое другое. Поэтому я не могу не согласиться с теми, кто говорит, что будущее человеческой цивилизации определяется прежде всего тем, как люди научатся ощущать себя членами одного экипажа того космического корабля, имя которому планета Земля. И как, сообразно этому, научатся преодолевать собственный эгоизм, согласовывать свои цели с целями общими; как сумеют прекратить самоубийственную растрату тех органических средств, которые нам отпустила для жизни Природа!

ГУМАНИТАРНЫЕ ПРОБЛЕМЫ, ИХ КИБЕРНЕТИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Воздействия человечества на биосферу не лишены определенных тенденций, определенных закономерностей. Этим вопросам посвящена огромная литература (например, работы, индуцированные активностью Римского клуба). Но все эти исследования и их результаты привязаны к определенным сценариям, к определенным гипотезам о поведении людей в будущем.

Как бы ни были важны подобные исследования, мы должны отдавать себе отчет о двух обстоятельствах. Во-первых, нет

более «гипотетичных гипотез», чем гипотезы о поведении людей, о межотраслевых и межрегиональных отношениях и т. д. В этих вопросах весьма велика роль субъективных факторов. И она растет по мере роста энерговооруженности человечества и ее концентрации в руках все меньшего и меньшего числа людей. Анализируя сценарии развития человеческой активности — без этого обойтись невозможно, — мы не должны переоценивать правдоподобия рассматриваемых ситуаций. И, во-вторых, поведение людей не является экзогенным фактором. Человечество — часть биосферы, и его реакция на окружающий мир определяется биосферой, процессами, которые в ней происходят, которые никак нельзя сбрасывать со счета.

Сегодня человечество нужно изучать как некоторую целостность, отдельные части которой связаны глубокими внутренними узлами. Но, будучи целостным, человечество во отнюдь не является единым. Оно распадается на огромное количество гомеостатических целостностей, имеющих собственные интересы, цели, определенные возможности их достижения и собственное представление об этих целях, если угодно, собственные шкалы ценностей. Людей разделяют национальная и государственная принадлежность, классовое и религиозное самосознание, расовые и имущественные противоречия и многое и многое другое. И, наконец, характер и поведение людей, а следовательно, и их взаимоотношение с биосферой зависит от индивидуальных качеств отдельных «сильных мира сего». Это все и есть та объективная реальность, с которой нельзя не считаться, обсуждая и изучая проблемы козволюции человека и биосферы.

И на первый взгляд кажется, что сама идея фокусирования усилий людей на основе какого-либо объединяющего начала столь же безнадежна, как и попытка канализации энергии, рассеянной в природе. Но человеческие объединения — это не физическая система, и меры энтропийного типа здесь не очень применимы. Человеческая история хранит многочисленные примеры того, как ничтожные количества бит информации приводили в движение массы людей и высвобождали огромную энергию (не только разрушающую, но и созидательную), которая в них скрыта. Эти движения приводили к качественной перестройке всей организации человечества. Конечно, для подобных ситуаций были исходными соответствующие условия вполне материального характера. Все зависит от

степени «кризисности ситуации». И если это ощущение становится достоянием людей, то эффективность информации, ее ценность неизмеримо возрастает. Я думаю, что мир находится сейчас как раз на том переломном гребне, когда у людей уже готово возникнуть новое представление о человечестве, о его общности, как это случилось уже не раз в его истории.

Вот в чем я вижу определенные шансы для успеха в области исследования проблем коэволюции и «пропаганде» идей, возникающих в этой области.

Для интерпретации своих взглядов я не раз использовал образ путешественников в одной лодке. У каждого из них свои стремления, свои цели. Но чтобы достичь своих целей, всем этим путешественникам необходимо одно — доплыть до берега. И понимание этого заставляет путешественников забыть (хотя бы на время) взаимные разногласия, вместе нажать на весла и делиться последним куском хлеба и глотком воды. Важно заметить, что эта модель подкреплена соответствующим математическим формализмом. Оказывается, что в этой ситуации всегда существует эффективный, устойчивый компромисс. Проблема сводится к его отысканию! Факт существования компромисса в модели — это объективный факт. Он указывает на принципиальную возможность так объединить усилия людей, чтобы они могли доплыть до берега. Другое дело — реализация этой возможности. Она уже целиком зависит от воли людей.

Таким образом, существуют две группы проблем коэволюции — проблема отыскания компромисса и проблема принятия компромисса. Последняя требует глубокого понимания его необходимости, и это понимание не должно быть уделом отдельных ученых или руководителей. Оно должно пронизывать все общество. И только в этом случае усилия человечества, которые потребует обеспечение коэволюции, могут быть действительно предприняты.

Что касается первой группы проблем, то, по существу, здесь работы уже начались. Они не представляют собой единого целого, но тем не менее исследования, которые проводятся в рамках национальных программ и программ международных организаций, постепенно создают инструментарий, необходимый для определения следствий тех или иных антропогенных нагрузок. Без этого этапа человек не сможет сделаться рачительным хозяином своего «планетарного имущества», имущества того Ноева ковчега, в который он

помещен неизбежностью эволюционного процесса.

Так или иначе, вопросы взаимодействия человека и биосферы, которые требуют прежде всего естественнонаучных знаний, уже делаются предметом научных исследований. Что же касается вопросов коэволюции, поднимающих новые проблемы гуманитарного мышления, то они разрабатываются значительно менее эффективно, хотя к ним и привлечено достаточно широкое внимание мировой общественности. И вряд ли следует упрекать в этом экономистов, историков, юристов и других специалистов, столь необходимых в этом новом круге нетрадиционной проблематики: все проблемы гуманитарного плана, связанные с поиском альтернатив, не только трудны, но и спорны. Даже сам термин «коэволюция человека и биосферы» можно трактовать с самых разных позиций.

Но есть одно положение, которое, кажется, разделяется всеми, — необходимо, чтобы у людей возникло ощущение общности, общности экипажа корабля! Для того чтобы поплыть в плавание по океану, экипаж корабля должен прежде всего ощутить общность цели, каждый член экипажа должен чувствовать свою к ней принадлежность. Эти пожелания легко реализовать, когда речь идет о десятках или сотнях людей. Но на планете — миллиарды. И тем не менее теперь у нас возможностей управлять, воздействовать на людей неизмеримо больше, чем во времена колумбовских каравелл.

В последние годы родилось новое слово — «телематика». Оно объединяет все способы непрямого воздействия на людей. Это не только печатное слово, но и, главным образом, радио, телевидение, кино. Вместе с традиционной системой «Учитель», т. е. системой образования, человечество в конце XX в. обрело совершенно уникальные возможности воздействия «самого на себя», возможности целенаправленного формирования шкалы ценностей и системы взглядов у огромных человеческих масс.

Система воздействия общества на человека становится не только более мощной и более действенной, но и более дорогостоящей. Суммарные затраты на телематику и образование составляют ныне значительную часть расходов в бюджете общества. В силу всех этих причин рациональное их использование превратится в одно из направлений деятельности, от которого будущее человечества зависит в значительно большей степени, чем это представлялось

себе многие. Я думаю, что формирование программы целенаправленного воздействия на человеческое общество требует сегодня тщательного обсуждения.

Эта проблема имеет много разрезов, поскольку действия людей чрезвычайно многогранны.

Так, например, можно (и нужно) обсуждать экономические последствия крупных международных и национальных промышленных и сельскохозяйственных программ. Решения, которые принимаются в подобных случаях, зависят от небольшого количества людей (экспертов, руководителей и т. д.). Поэтому принятие того или иного решения зависит от уровня интеллекта, общей культуры и естественнонаучной подготовки относительно небольшого числа людей.

Совсем другая ситуация возникает, когда те или иные воздействия человека на биосферу зависят от воли и действий миллионов и миллиардов людей. К их числу относятся, например, проблемы демографии. Рост населения, его непрерывное распределение по территории относятся, вероятно, к числу самых острых проблем глобальной экологии. И вот здесь без тех возможностей, которые нам дает телематика, обойтись невозможно. По существу, необходимо создание нового мировосприятия миллиардов людей, их нового отношения к коренным вопросам человеческой жизни.

Определение рациональной численности экипажа корабля — это компетенция ученых. А вот как добиться того, чтобы человечество приняло эту доктрину? Конечно, не может быть и речи, чтобы уже сегодня человек как вид живого вписался бы в естественные циклы биосферы. Человек еще долго будет расходовать земные ресурсы и перестраивать биосферу. Но вся эта деятельность не должна вывести биосферу на тот режим необратимой эволюции, который может грозить исчезновением вида *Homo sapiens*.

Конечно, решить проблему ограничения рождаемости нельзя одними только методами телематик и разработкой принципов воспитания. На протяжении тысячелетий большое количество людей было определенной гарантией старости. Ныне бремя обеспечения стариков должно быть переложено с семьи на плечи человечества. Не случайно в тех странах, где пенсионное обеспечение достаточно высоко, уровень рождаемости низок!

Сегодня все более острой является проблема исключения войны из арсенала

средств разрешения конфликтов. Человечество не раз являлось свидетелем того, как целенаправленная агитация создавала тот душевный и идеологический настрой, который превращал цивилизованные нации в орды, готовые уничтожить все то, что не подходит под их собственный трафарет. Но ведь эта сила человеческого воздействия на массы может быть направлена и в другую сторону! Я думаю, что общество способно воспринять идеи сосуществования человека и биосферы и как необходимое условие — сосуществование людей друг с другом!

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вернемся теперь к тому, с чего мы начали эту статью — к проблеме эволюции и ее механизмам. Эволюция жизни на нашей планете приводит к дивергенции — все время возникают новые виды, новые ветви необратимых состояний и т. д., и современный глобальный экологический процесс мы должны уметь рассматривать именно с этих позиций.

Современный период истории человечества и планеты в целом — это переход к тому новому состоянию биосферы, которое В. И. Вернадский назвал ноосферой. Этот период характерен резким ускорением всех эволюционных процессов, стиранием грани между эволюцией и экологией человека. Возникновение техносферы как неотъемлемой части биосферы и рост антропогенных нагрузок не изменяют тех основных методологических принципов, которые лежат в основе любой эволюционной теории. Мы по-прежнему должны формулировать определенные принципы отбора и с их помощью оценивать вероятность тех или иных тенденций. Но теперь эти принципы отбора — уже плод интеллекта людей, их воли. Наблюдая и изучая природу, мы можем найти условия, необходимые для сохранения стабильности. Но ведь их надо еще реализовать. Теперь речь идет уже об отборе тех вариантов развития человечества, которые определяются действиями людей.

Все эти вопросы требуют совместных усилий специалистов многих различных специальностей, глубокого всепроникающего синтеза естественных и общественных наук. Философы, экономисты, историки должны быть столь же активными участниками изучения проблем козволюции человека и биосферы, как и физики, биологи, математики и инженеры.

ЖИЗНЬ ВО ЛЬДУ И ПОДО ЛЬДОМ

Льды покрывают полярную область земного шара, ими же скованы зимой и внутренние водоемы. Однако, если лед рек, озер и водохранилищ лишь изменяет условия жизни скрытых под ним обитателей, то арктический лед «живет» сам, являясь, к тому же, субстратом для разнообразных криоорганизмов. О свойствах арктического льда и ледовой экосистеме, а также о зимних сообществах беспозвоночных в северных водоемах Европейской части СССР рассказывается в статьях И. А. Мельникова и И. К. Ривьер.

Живой лед

И. А. Мельников



Игорь Алексеевич Мельников, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР. Организатор и участник нескольких экспедиций на дрейфующих станциях «Северный полюс». Почетный полярник. Научные интересы связаны с изучением экосистемы арктического морского льда.

Арктос... Страна Белой Медведицы — так называли в древности северную полярную область. В нашем воображении Арктика всегда ассоциируется с этим красивым могучим зверем и, конечно, со льдами.

Бесконечные, безмолвные ледяные просторы. Недаром и океан называют Северным Ледовитым. Тот, кто бывал в высоких арктических широтах, конечно же, поражался грандиозностью и красотой этого царства.

Лед издавна привлекал внимание зверобоев, землепроходцев и полярных исследователей. На первых порах он интересовал их как навигационный путь: для плавания во льдах были необходимы све-

дения о сплоченности льдов, толщине ледового покрова, закономерностях дрейфа ледовых полей, времени вскрытия северных морей. Позднее естествоиспытатели обратили внимание на то, что лед — сложное физическое тело, включающее в себя разнообразные соли, частицы, содержащиеся в воде в момент его формирования, а также многочисленные микроорганизмы — одноклеточные водоросли, — образующие в толще льда большие, окрашенные преимущественно в бурые оттенки скопления. Открытие ледовой флоры было принципиально важным, так как лишь раз указывало на вездесущность живого на нашей планете.

Первым обратил внимание на существование водорослей во льдах немецкий ученый К. Эренберг в середине XIX в. Затем диатомные водоросли в арктических льдах неоднократно наблюдали: А. Норденшельд во время плаваний на «Вега» Северо-Восточным путем (1878—1880), Ф. Нансен в период знаменитого дрейфа на «Фраме» через Центральный Арктический бассейн (1893—1896), русский ботаник И. В. Палибин, принимавший участие в походе ледокола «Ермак» летом 1901 г. по северной части Баренцева моря. В последующих работах исследователи Арктики и Антарктиды также находили одноклеточные водоросли в толще льдов.

И если арктическая ледовая флора была обнаружена еще в конце прошлого века, то в существование криофильной (от греч. κρύος — холод) фауны долгое время не верили даже исследователи, находившие в толще льда морских беспозвоночных. Вплоть до 60-х годов нынешнего столетия не удавалось выяснить, откуда эта фауна берется, поскольку наблюдать за нижней (морской) поверхностью льда с помощью имевшейся техники было невозможно. Только с использованием акваланга удалось узнать о судьбе ледовой флоры.

Во время водолазных погружений сначала в Антарктиде (экспедиции Зоологического института АН СССР в 1967—1976 гг.), а потом в Арктике (экспедиции Института океанологии АН СССР в 1977—1980 гг.) под различными типами льдов были обнаружены многочисленные беспозвоночные животные, обитающие на границе раздела вода — лед. Оказалось, что в рацион этих животных прямо или косвенно (по пищевым связям) входят одноклеточные водоросли, развивающиеся у льда. И только после этих исследований появилось основание рассматривать обитателей ледовой толщи как сообщество организмов, для которых лед играет роль субстрата.

О разнообразных проявлениях живого в арктическом льду рассказывает автор статьи, принимавший участие в исследовательских работах нескольких дрейфующих станций.

ЛЕДЯНАЯ «КОЖА» ОКЕАНА

Речь будет идти только об арктическом дрейфующем льде, так как его свойства во многом отличаются от других типов льдов, например пресноводных и морских шельфовых.

Точка замерзания льда — величина непостоянная, она зависит от содержания в воде солей и состояния поверхности (в районе наших исследований образование льда начиналось при $-1,8^{\circ}\text{C}$). Арктический лед образуется из морской воды, имеющей соленость около 31‰. Во время его формирования при образовании и дальнейшем росте кристаллов все элементы морской воды — клетки, минеральные и органические частички, соли — попадают в межкристаллические пространства, где некоторое время остаются в рассоле. Количество таких включений зависит от времени и места образования льда.

Когда образовавшийся снизу лед постепенно попадает в зону более низкой, чем у воды, температуры, происходит охлаждение рассола и начинается его миграция из холодной области в более «теплую», т. е. сверху вниз. При вытекании охлажденного рассола в морскую воду на нижней поверхности льда часто образуются своеобразные «сталактиты». В результате миграции рассоловых ячеек по толще льда он теряет часть включенных в него солей и становится более пресным. Но не весь рассол вытекает из льда, часть его задерживается в межкристаллических пространствах — ячейках.

Ледяную толщу нельзя представить как некий неподвижный покров. Лед почти постоянно растет снизу вверх: если к нижней поверхности льда прикрепить пластинку, то она постепенно поднимется кверху и в конце-концов выйдет на поверхность. Летнее таяние льда сверху компенсируется нарастанием его на морской поверхности снизу в холодное время года. Судя по нашим наблюдениям на дрейфующей станции «Северный полюс-23» в 1977—1978 гг., за год толщина льда обновляется на 1 м. В целом же в Арктическом бассейне сохраняется равновесная толщина многолетнего льда, равная трем метрам.

Во время полярного дня вся толща пронизывается солнечным светом, но его количество в разных слоях льда зависит от многих факторов: мощности снега на льду, толщины самого льда, высоты Солнца над горизонтом и т. д. Состояние покрова в течение светлого периода меняется интенсивно и непрерывно, а следовательно, в соответствии с этим меняется и количество света, проходящего сквозь снежно-ледяной покров.

Распределение температуры в толще льда также неравномерно и меняется в течение всего года. Максимальный временной перепад температуры приходится на



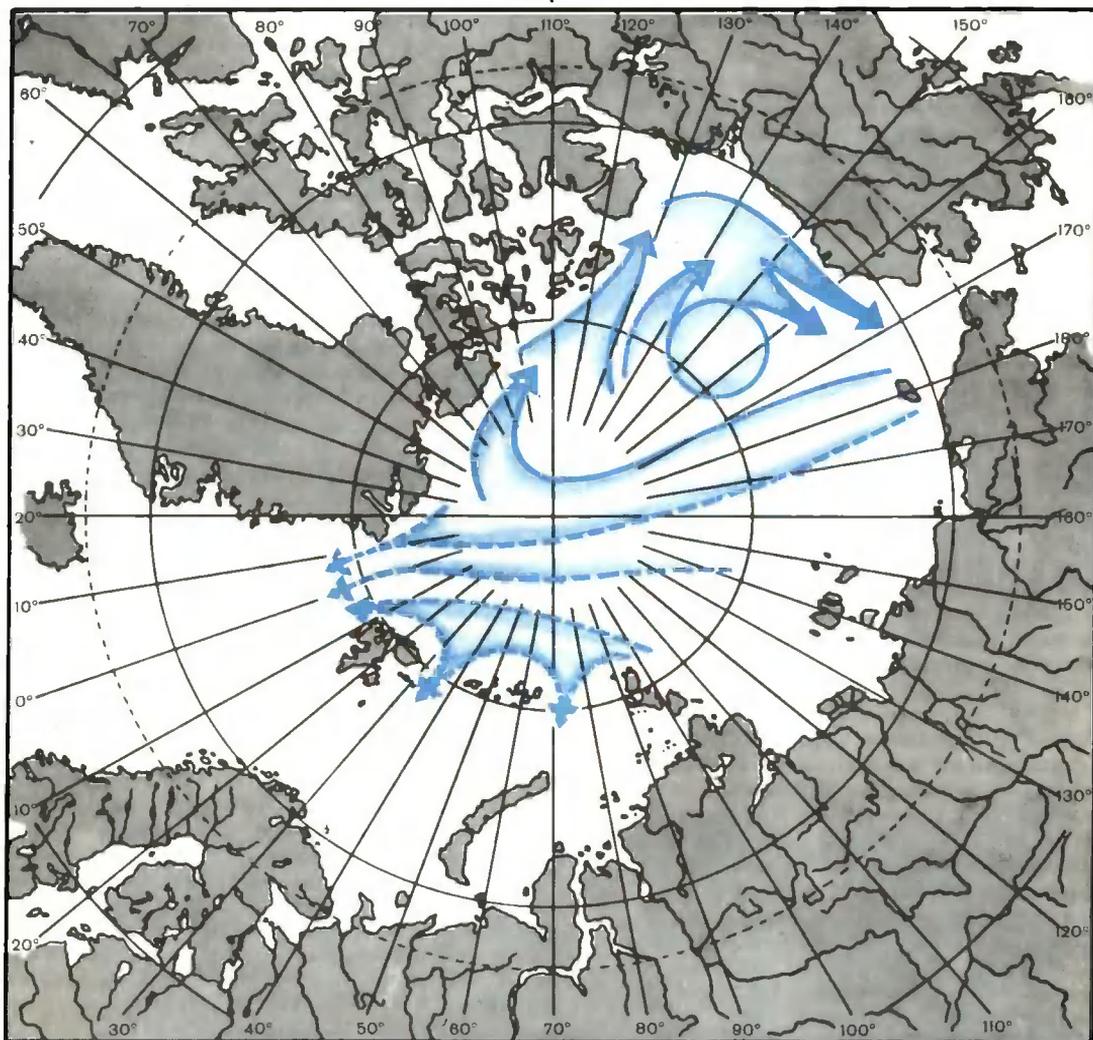
Арктические льды в районе дрейфа станции «Северный полюс-18». Видны разломы и трещины.

верхние, а минимальный — на нижние слои льда.

Всем известно, что арктический лед перемещается, дрейфует. Происходит такой дрейф по двум направлениям: трансарктическому (от Чукотского и Восточно-Сибирского морей через Северный полюс в Северную Атлантику) и антициклональному (в Американо-Азиатском суббассейне). Трансарктический вынос льда происходит за три года (это и обуславливает средний срок «жизни» дрейфующих станций в этом районе дрейфа), а антициклональный кругооборот завершается за семь лет (такой дрейф

совершила станция «Северный полюс-22» с 1973 по 1980 г.).

Дрейфуя в океане, лед контактирует с различными водами, состав которых весьма неодинаков. Именно поэтому во время роста льда в его структуру включаются разные по составу и количеству минеральные, биогенные и органические компоненты морской воды, т. е. состав льда постоянно обновляется и изменяется. Лед, образующийся в зоне высокопродуктивных северных морей, содержит большое количество питательных веществ, продуцируемых здесь фитопланктоном. С учетом того, что «высокопродуктивный» лед формируется на большой площади и дрейфует от северных морей к полюсу, роль арктического льда как источника питательных



Дрейф арктических льдов. Сплошными стрелками показан трансарктический дрейф, пунктирными — антициклональный.

вещества для организмов, живущих в пелагиали океана, чрезвычайно велика. И не только для пелагических организмов. Для экологической обстановки в самой толще льда очень важна миграция рассола сверху вниз. Вместе с солями по межкристаллическим пространствам выходят вещества, синтезированные ледовой флорой во время полярного дня. Зимой, когда в арктической зоне царит ночь и фотосинтез невозможен, лед отдает свой резерв органических соединений — единственного источника питания ледовых организмов в течение целого полугода полярной ночи.

Итак, лед — это многофункциональная динамическая система, включающая в себя растворенные и взвешенные минеральные, биогенные и органические компоненты, содержащиеся в воде, а не просто конгломерат кристаллов. Одновременно это и своего рода «кожа», предохраняющая океан от выхолаживания: зимой при температуре воздуха -40°C подстилающая лед вода охлаждается лишь до $-1,8^{\circ}\text{C}$!

Лед можно сравнить с кожей и подкожной жировой прослойкой, играющих роль «зимней одежды» у теплокровных животных.

С понижением температуры воздуха в полярную ночь толщина льда увеличивается и надежно покрывает водный слой от потока холодного воздуха.

ЛЕД — ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Арктический лед — не только «кожа» и источник питательных веществ, это также и субстрат, в толще и на поверхностях которого живут разнообразные организмы. Стало быть, это и сложная экологическая система со свойственными ей своеобразными связями!

В высоких арктических широтах год приближенно можно представить как сутки, в которых день и ночь длятся почти по 6 000 часов. Светает здесь в марте, но полный полярный день начинается в апреле. Солнечный свет, а точнее фотосинтетически активная радиация, начинает проникать сквозь лед уже в апреле, когда снег еще лежит на ледовой поверхности, последние же лучи Солнца достигают подледной воды в середине сентября. Следовательно, все время, пока Солнце находится над горизонтом, ультрафиолетовая радиация разной мощности проходит через снежно-ледяную или только ледяную покров, и ее бывает достаточно для фотосинтеза водорослей, распределенных по всей толщине льда.

В Центральном Арктическом бассейне криофильные организмы имеют дело с постоянно изменяющимся физическим телом — льдом. Две его поверхности контактируют с различными физическими субстанциями — воздухом и водой. Верхняя поверхность льда подвержена самым активным воздействиям факторов окружающей среды: температуры воздуха, солнечной радиации, влажности, дождя, снега и т. п., поэтому она сильно изменяется в течение года, и особенно летом, во время таяния. Нижняя, морская, поверхность льда несравненно менее подвержена влиянию внешних факторов, действие которых сглаживает ледяная толща.

Проследим за развитием криоорганизмов во времени (начиная с весны), продвигаясь сверху вниз через снежно-ледяную покров и помня, что лед одновременно перемещается в акватории Арктического бассейна.

Начнем с верхней поверхности льда. Именно здесь наибольшее влияние на жизнедеятельность организмов оказывает температура, а не солнечный свет. Морозы, иногда до -30°C , в среднем же от -15 до

-20°C , держатся в Арктике почти до конца мая, поэтому на поверхности незаметно каких-либо следов развития снежной флоры. В конце мая — начале июня в некоторых местах начинают появляться пятна мокрого снега, снежицы. Анализ проб из них показывает, что здесь активно развиваются несколько видов зеленых водорослей (Chlorophyta), среди которых доминирует хламидомонада снежная (*Chlamidomonas nivalis*), и синезеленые водоросли (Cyanophyta). Интересно, что клетки этих водорослей оживают под снегом, когда температура воздуха еще значительно ниже нуля. Развиваясь в снегу, одноклеточные водоросли не только используют солнечную радиацию на собственные нужды, но и, подобно темным частичкам, поглощают ее и тем способствуют большему задержанию и рассеиванию лучистой энергии в среде. Вероятно, это и может быть причиной появления талой воды под снегом при отрицательных температурах воздуха.

С повышением температуры в июле—августе таяние охватывает всю поверхность: снежный покров исчезает, талая вода начинает проникать под лед. В это время проходит массовое развитие одноклеточных водорослей в талой воде и на поверхности ледяного покрова — в трещинах, каналах, кавернах, т. е. во всех образованиях, формирующих его рельеф. Развитие же водорослей, в свою очередь, способствует интенсивному таянию снега.

В сентябре, с наступлением похолодания, образовавшиеся летом участки талой воды снова покрываются льдом, затем снегом. Некоторое время развитие водорослей продолжается, но с наступлением полярной ночи процесс фотосинтеза у них полностью заканчивается.

В толще льда сообщество криофильных организмов значительно сложнее, чем на поверхности. Поскольку температура нижних горизонтов выше, чем верхних, первыми, вероятно, оживают водоросли, обитающие именно в нижних слоях. Анализ проб, взятых с ближайших к морской поверхности горизонтов, показал, что в них развиваются диатомовые водоросли — те же, что и в воде подо льдом. Значит, в нижних слоях живут и развиваются планктонные водоросли, которых по отношению к типичным криофилам, обитателям льда, можно рассматривать как гостей, иммигрантов. В вышележащих слоях диатомовые не развиваются, так как клетки этой группы водорослей, вероятно, не выдерживают более низкой температуры и погибают.

По мере прогревания льда в мае—

¹ Мельников И. А. Экосистема арктического дрейфующего льда. — В кн.: Биология Центрального Арктического бассейна. М., 1980, с. 61.



В течение полярного лета успевает протаять метровая толщина арктического льда, и установленная зимой

палатка оказывается как бы поднятой на ледяном пьедестале.

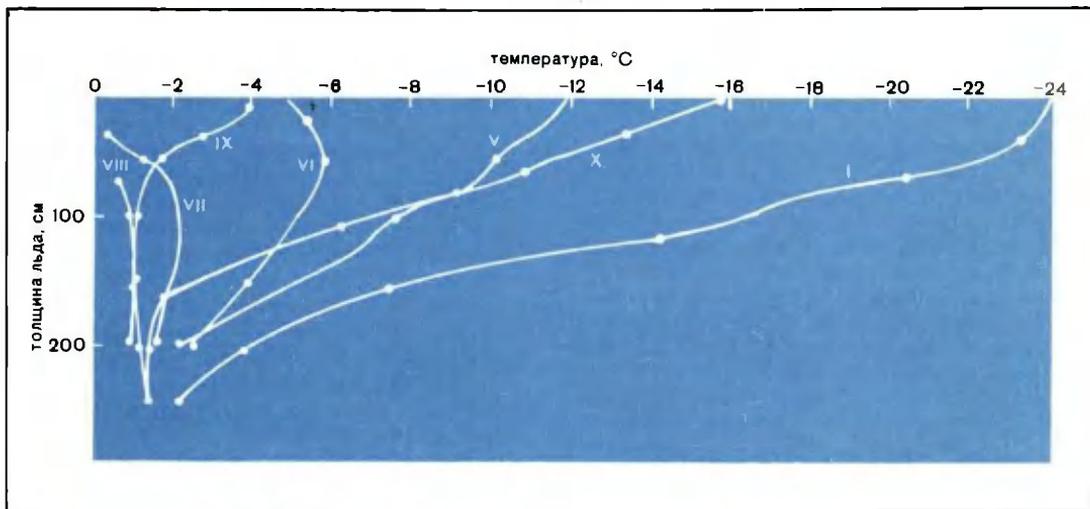


График распределения температуры в толще льда. Римскими цифрами обозначены месяцы [Гайцкоки Б. Я., 1970].

июне в верхних слоях начинает развиваться собственно ледовая флора. Мы специально культивировали водоросли, взятые из этих

слоев, на искусственных питательных средах и обнаружили несколько видов из родов *Chlorella* и *Chlorhormidium* (Chlorophyta). Там же были обнаружены и бесцветные жгутиконосцы родов *Monas* и *Ochromonas*. Хотя криофилы развивались по всей толще льда, максимальная численность и биомасса клеток наблюдались в средних слоях. Возможно, что причиной этого явилось

действие температуры: при охлаждении льда происходит миграция рассоловых ячеек сверху вниз, а с ними и зимующих в них клеток, и дающих массовое «цветение».

Активное развитие криофильной флоры приводит к уменьшению прочности льда: он становится вязким, рыхлым, «мокрым». Проанализировав текстуры многолетнего льда, мы заметили, что летом в его толще появляется множество каверн, заполненных водой (очаги развития водорослей), это приводит к ослаблению связей в кристаллической структуре и сказывается, в конечном счете, на механических свойствах льда. Такая роль водорослевых скоплений в таянии льда была отмечена еще И. В. Палибиным в первых криобиологических исследованиях в Арктике в начале XX в. О микроорганизмах как разрушителях полярных льдов писали позже В. Г. Богоров, В. Х. Буйницкий, П. П. Шишов и другие исследователи.² Развитие водорослей в толще льда охватывает дрейфующий ледяной покров главным образом в июне—августе, и именно в это время лед делается наименее прочным.

С наступлением полярной ночи и похолодания процессы развития флоры в толще льда так же как и на поверхности, заканчиваются.

Нижняя поверхность льда — это наиболее интересная часть ледовой толщи по составу населяющих организмов и динамике процессов снежно-ледяного покрова. Основной фактор, регулирующий здесь биологическую активность, — солнечный свет. В Арктическом бассейне фотосинтетические реакции на границе раздела вода—лед начинаются сразу, как только первые лучи солнца проникнут под лед. Однако точно сказать, когда начинается фотосинтез, нельзя, так как прохождение солнечной радиации сквозь снежно-ледяной покров — сложный и неравномерный процесс, зависящий главным образом от толщины льда и состояния его поверхности (в основном мощности снежного покрова). Во время работы дрейфующей станции «Северный полюс-23» при погружении нам удалось установить, что уже в марте при малых углах Солнца над горизонтом свет начинает проникать под

многолетние льды в местах, где на их поверхности лежит мало снега. Для фотосинтеза, роста и деления клетки важна не интенсивность света, а его количество; другими словами, чтобы активно существовать, клетка должна получить определенное количество фотосинтетически активной радиации. Расчеты показали, что для этого в апреле света уже вполне достаточно.

Именно с апреля на морской поверхности льда и развивается криофлора, представленная двумя жизненными формами: скоплениями планктонных диатомовых водорослей (главным образом из родов *Fragilaria*, *Melosira*, *Gomphonema*) в виде сгустков и комков до 10—15 см в диаметре, а также скоплениями колониальной *Melosira arctica*, которая образует шлейфы длиной до 2 м, прикрепленные к поверхности льда.

Сгустки одноклеточных водорослей встречаются все лето на различных участках морской поверхности молодых и старых льдов, занимая небольшие углубления в микрорельефе, а шлейфы колониальной мелозиды — у трещин или края льдин вдоль разводей, т. е. в местах наиболее освещенных и наиболее богатых биогенными элементами.

С арктической флорой связана криопелагическая фауна, жизненный цикл развития которой постоянно или временно связан с морской поверхностью льда. К числу живых организмов относятся как аборигены, постоянные обитатели льда, — гаммарусы и мизиды (*Gammarus wilkitzkii* и *Mysis polaris*) и другие животные, так и временные обитатели: разнообразные рачки бокоплавь, среди которых наиболее многочисленна *Apherusa glacialis*, веслоногие рачки (*Calanus hyperboreus* и *C. glacialis*) и другие ракообразные. Кроме этих групп беспозвоночных, в состав криопелагического биоценоза входят также и рыбы — полярные тресочки (*Arctogadus glacialis* и *Boreagadus saida*).

Особенно интересны постоянные обитатели льда, жизнь и расселение которых в Центральной Арктике полностью определяется его развитием и дрейфом в бассейне. Полярными исследователями дрейфующих станций «Северный Полюс-22» и «Северный Полюс-24» (1980 г.)

² Богоров В. Г. — Проблемы Арктики, 1939, № 1, с. 14; Буйницкий В. Х. Микроскопические организмы и их влияние на строение и прочность морских антарктических льдов. — В кн.: Морские льды и айсберги Антарктики. Л., 1973, с. 73.

Колониальные диатомовые водоросли, образующие длинные шлейфы, прикрепляются к нижней поверхности льда.





Торшение ледовых полей — одно из характерных явлений в Арктическом бассейне. Ледовый вал постепенно нарастает, приближаясь к гидрологическому домику [вверху], а уже через час домик оказывается почти погребенным под громадным торосом [внизу].

во время водолазных работ эти типично ледовые формы обнаружены по всей Арктике.

Все сказанное об арктическом льде свидетельствует о том, что лед — это очень неустойчивая среда обитания, жизненный субстрат, подверженный периодическим изменениям. Такая специфика субстрата и суровый климат высоких широт делают условия обитания ледовых организмов крайне экстремальными. Чтобы выжить в столь суровых условиях, у криоорганизмов в ходе эволюции выработались специальные приспособления³. Например, с наступ-

лением похолодания и полярной ночи клетки снежной, ледовой и планктонной флоры образуют так называемые покоящиеся стадии: споры, ауксоспоры, цисты. В таком состоянии и переносит криофлора самый неблагоприятный период своей жизни.

Приспособлены к экстремальным условиям среды обитания и ледовые формы беспозвоночных. Полярной зимой, когда пищи мало и поиск ее затруднен, у подвижных видов, например у *Gammarus wilkitzkii*, снижается активность движений и таким образом экономится энергия. Подругому адаптировались планктонные арктические животные: за лето в их организме накапливаются запасные высококалорийные вещества (например, различного состава воск). В длинную полярную ночь эти животные и получают энергию из такого резерва — депо энергии.

Комплекс этих адаптаций у криофильной флоры и фауны определяет устойчивое существование экологической системы дрейфующего льда в Арктическом бассейне в течение ее недолгой жизни.

³ Horner R. A., Alexander V. — *Limnol. and Oceanogr.*, 1972, v. 17, p. 454.

В подвижной и изменчивой толще льда состав населяющих его организмов постоянен. Продолжительность жизни ледовой экосистемы определяется временем пребывания льда в пределах Арктического бассейна. После выноса льда в Северную Атлантику происходит деградация экосистемы: все вещества и организмы льда попадают в воду и здесь, очевидно, становятся источником питания местных сообществ или включаются сами в эти сообщества.

Заканчивая свой рассказ, подчеркнем еще раз, что арктический лед — постоянно обновляющееся движущееся образование, своеобразная «кожа» океана, населенная, к тому же, специфическими организмами. Приведенные здесь сведения — лишь первые результаты научных исследований в суровой стране Белой Медведицы.

Заканчивая свой рассказ, подчеркнем еще раз, что арктический лед — постоянно обновляющееся движущееся образование, своеобразная «кожа» океана, населенная, к тому же, специфическими организмами. Приведенные здесь сведения — лишь первые результаты научных исследований в суровой стране Белой Медведицы.

Жизнь подо льдом

И. К. Ривьер,

кандидат биологических наук
Институт биологии внутренних вод АН СССР
Борок, Ярославская область

Полноту наших знаний о наземных животных и растениях никак нельзя сравнить со значительно более скудными сведениями, полученными в гидробиологических исследованиях различных водоемов даже в летнее время. О жизни же рек, озер и водохранилищ зимой, когда водная среда, как щитом, закрыта от наблюдений ледяным покровом, мы знаем еще меньше. Зимний подледный период в водоемах средней полосы Европейской части СССР продолжается около 160 дней, составляя почти половину года. Температура воды в это время колеблется незначительно — от +5 до 0°C, да и по стабильности других условий зима в водоемах гораздо более подходящей, чем на суше, период для жизни животных.

Ограниченность научного багажа гидробиологов обусловлена несовершенством технических средств для наблюдений и измерений в зимнее время и трудностью подледных исследований. Еще много нерешенных вопросов, связанных с жизнью подо льдом: не ясен характер течений («термических» и «химических») плотной воды; не прослежен процесс концентрации органических соединений в самом верхнем приледном слое при интенсивном нарастании «истинного льда»; не понята природа парадоксальной устойчивости водной массы, когда прогревая

до 2—3°C, и следовательно, более тяжелая вода лежит поверхностным слоем; не выявлены покоящиеся летние стадии зимних форм беспозвоночных и т. д.

Исследования автора заметки касались как раз «узкого места» в жизни водоемов. С полученными во время работы сведениями автор и знакомит читателя.

Летом пронизанная солнечным светом водная толща прогревается, постоянно перемешивается ветром, обогащается кислородом, разбавляется (или теперь уже загрязняется) дождями. Возникают ветровые, компенсационные течения, вызывающие подъем глубинных вод, перемешивание слоев. Благодаря высоким температурам микрофлора активно разлагает органику, размножаются планктонные водоросли, в большом количестве развивается, потребляя бактерии и водоросли, зоопланктон — простейшие, ракообразные и коловратки.

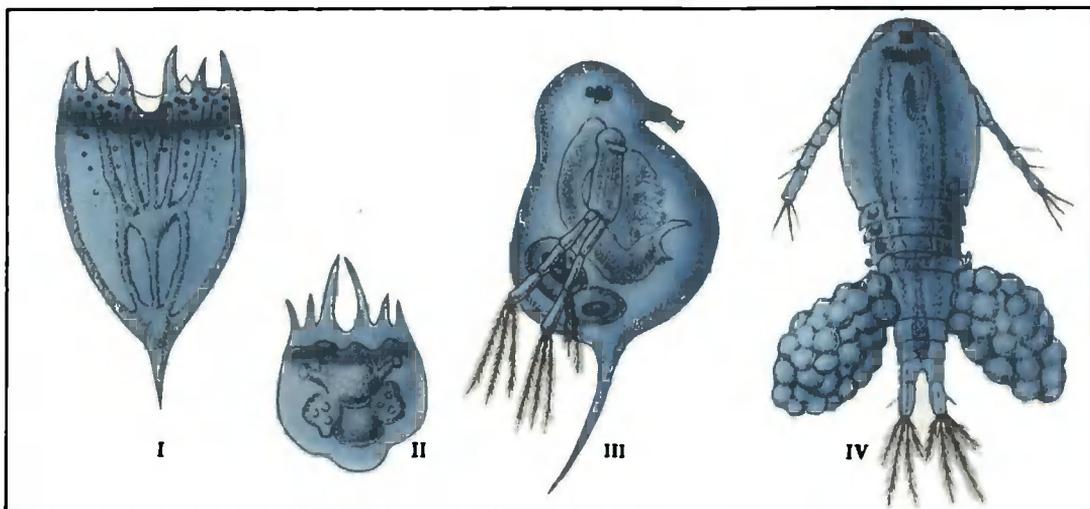
С образованием ледяного покрова условия в водоеме чрезвычайно изменяются. Подо льдом прекращается ветровое перемешивание водной массы, стихают течения, быстро оседает взвесь и возрастает прозрачность. Постепенно начинается прогрев воды от грунта обратно направленным тепловым потоком дно — толща воды. Всю зиму обитатели водоема

будут жить за счет тепла, накопленного донными отложениями, и использовать кислород, запасенный во время осеннего волнового перемешивания.

Пока не образовались толстые снежные наносы, препятствующие проникновению света, под самой кромкой льда вегетируют планктонные водоросли, размножаются бесцветные простейшие — жгутиконосцы. Здесь же начинают размножаться, достигая к концу зимы большой численности, коловратки. Подледные скопления этих животных мы обнару-

Жулик, много их в Ладожском и Онежском озерах. В более мелких и евтрофных водоемах, таких как озера Плещеево, Белое, Рыбинское водохранилище, активные особи встречаются только зимой, когда условия в водоемах несколько приближаются к условиям крупных олиготрофных озер.

Как показали наши исследования, на Рыбинском водохранилище уже ранней весной, при интенсивном поступлении под лед мутных талых вод численность нотолек сокращается, а после таяния льда с началом ветрового взмучивания они откла-



Некоторые типичные представители зимнего зоопланктона.

I — *Notholca foliacea*, II — *N. squamata*, III — *Daphnia cristata*, IV — *Cyclops kolensis*.

живали, как правило, по всему зимнему водоему, а к февралю — марту они занимали уже и толщу воды, распространяясь до 3—4-метровой глубины!

Зимние коловратки — это особые холодолюбивые виды, не встречающиеся летом в активном состоянии. Обычно они живут в холодной, чистой, с высокой прозрачностью, воде. Наиболее многочисленны и обычны среди них виды рода *Notholca* — изящные причудливой формы животные со строгой симметрией. Наибольшее число видов нотолек обитает в озере

Байкал, много их в Ладожском и Онежском озерах. В более мелких и евтрофных водоемах, таких как озера Плещеево, Белое, Рыбинское водохранилище, активные особи встречаются только зимой, когда условия в водоемах несколько приближаются к условиям крупных олиготрофных озер.

Как показали наши исследования, на Рыбинском водохранилище уже ранней весной, при интенсивном поступлении под лед мутных талых вод численность нотолек сокращается, а после таяния льда с началом ветрового взмучивания они откла-

дывают покоящиеся яйца и жизненный цикл нотолек заканчивается. Новое поколение появляется лишь подо льдом.

Из ракообразных самый массовый зимний вид в Рыбинском водохранилище — кольский циклоп (*Cyclops kolensis*) — рачок, обычный обитатель глубоких горных озер Скандинавии и Кольского п-ова. В течение всего лета его можно обнаружить и в водоемах других частей Европы, где температура воды не поднимается выше 8—10°C. В водоемах же средней полосы Европейской части СССР летом, когда вода прогревается до 25°C и вся толща ее наполняется многочисленными водорослями, молодь этого холодолюбивого циклопа ложится в придонный ил и там в состоянии диапаузы переживает неблагоприятное для активной жизни время. Всплывает молодь только зимой и, попадая в течения с наиболее плотной водой, теплыми придонными токами сносятся в углубления ложа водоема. В Рыбинском водохранилище самые благоприятные условия для развития циклопа созда-

Ривьер И. К., Бакастов С. С., Саралов А. И. — Гидробиол. ж., 1981, т. 17, вып. 3, с. 20.

ются в руслах затопленных рек и озер: здесь необходимая для него температура (3—4°C) и чистота воды. Именно в таких местах образуются огромные скопления кольского циклопа: в феврале, когда только начинается его размножение, мы насчитывали до 2000 особей в литре взятой для пробы воды. Наиболее активны циклопы в марте, интенсивность их размножения к концу месяца достигает максимума, появляется большое количество молоди. Ко времени стаявания льда кольский циклоп выедает в придонном биоценозе все мирные формы беспозвоночных и становится почти чистой культурой.²

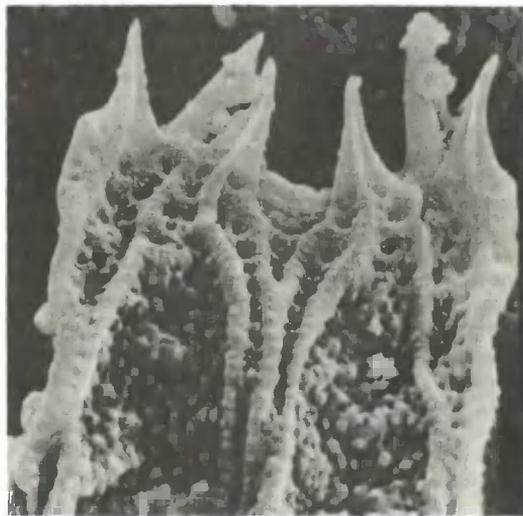
Исследуя численность циклопа на разной глубине затопленного русла р. Мологи в Рыбинском водохранилище, мы обнаружили, что популяции этого хищника мигрируют, постепенно поднимаясь от придонного слоя до небольшой глубины. Такая миграция обусловлена пищевыми связями. Начало пищевого звена — многочисленные бактерии, которые в придонном слое воды осуществляют окисление метана, образовавшегося в мощных иловых отложениях. Поглощая бактерий, интенсивно размножаются и становятся многочисленными рачки-фильтраторы — дафнии, босмины. Ими-то и питается кольский циклоп. По мере окисления метана кислород у дна истощается, окисление идет в более верхних слоях и все сообщество постепенно поднимается вверх.

В начале мая в прибрежных участках Рыбинского водохранилища родительские особи циклопа отмирают, а молодежь ложится на дно. В центральных же участках водоема, где огромная водная масса прогревается медленнее и дольше сохраняются необходимые жизненные условия, взрослые циклопы живут до конца мая.

Богаче и разнообразнее зимний планктон в глубоких, по сравнению с водохранилищем, озерах. В Плещеевом озере, где глубина достигает 25 м, кроме кольского циклопа по всей толще воды мы обнаружили диаптомуса. Взрослые особи этого рачка подо льдом малоактивны, но сразу после вскрытия водоема при температуре 8—10°C начинают бурно раз-

множаться. Когда поверхность озера прогревается до температур, выше оптимальных для диаптомуса, этот рачок опускается в глубинные слои.

Максимальное количество зооплankтона (более 2 г в м³ пробы) подо льдом Плещеева озера в марте 1980 г. приходилось на участок, где дно начинает резко опускаться; несколько меньше (1,5—2 г в м³) на двух других глубинах: около 5 м и 16—17 м. На дне в самом глубоком месте, так же как и сразу подо льдом, жизнь была довольно бедна

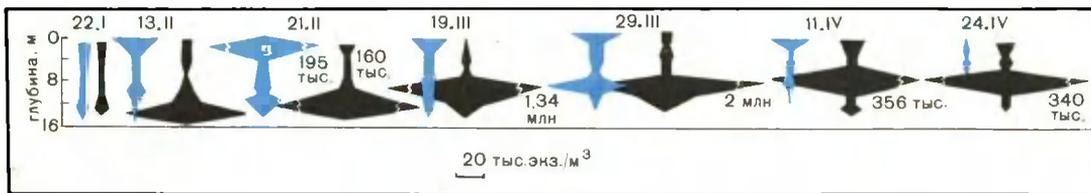


Notolca foliacea из Плещеева озера. На фото, сделанном в сканирующем микроскопе, видна только верхняя часть тела беспозвоночного. (Увел. в 5000 раз.)

и биомасса выловленного зооплankтона не превышала 0,2 г в м³.

Белое озеро Вологодской области — третий водоем, в котором мы проводили гидробиологические исследования, — небольшое, округлой формы, очертаниями напоминающее ложе блюдца, мелкое озеро. Глубина его не превышает 5 м, дно покрыто мощным слоем иловых отложений. Летом вода в озере прогревается до самого дна и отдает грунту тепло, которое в зимний период возвращается озеру: в феврале — марте придонные температуры составляют 3—4,7°C. Холодноводный комплекс беспозвоночных этого озера значительно беднее по сравнению с Рыбинским водохранилищем и Плещеевым озером. Под нижней кромкой льда по всей площади озера мы нашли скопления коловраток, а у самого дна — север-

² Ривьер И. К. Структура популяций *Succinea kolensis* и влияние на нее некоторых абiotic факторов в природе и эксперименте. — В сб.: Морфология и биология пресноводных беспозвоночных. (Тр. Ин-та биол. внутр. вод АН СССР, 1980, вып. 44 (47), с. 46. Рыбинск.



Вертикальное распределение колозатов и циклопов в течение зимы в затопленном русле р. Мологи (Рыбинское водохранилище). Отчетливо видно, что скопления рачков поднимаются вверх ото дна по мере убывания кислорода.

ного происхождения виды дафний, зимующих здесь и медленно размножающихся.

Конечно же, в своей работе мы столкнулись с обычными в зимнее время трудностями. На огромных просторах замерзших, заснеженных ледяных равнин Рыбинского водохранилища (его площадь более 4,5 тыс. км²) зимой нет никаких ориентиров, и потому отыскивать в снежной пустыне затопленные русла рек и озер — наиболее интересные для гидробиологических исследований места — приходилось по несколько дней, постоянно просверливая лунки в метровом льду и измеряя глубину. Помогали в этих условиях точные приметы: нагромождение шуги, свидетельствующее о банках, живые трещины — о резких перепадах глубины, провисание льда — о впадинах дна, огромные пузыри метана во льду — о мощных отложениях илов и т. д. Значительно облегчали измерения параметров водной среды созданные в экспериментальных мастерских Института биологии внутренних вод АН СССР специальные приборы. С их помощью мы могли измерять на любом горизонте воды температуру (с точностью до 0,1°С) и электропроводность, определять количество отраженного от снежного покрова и проникающего под лед солнечного света, получать пробы воды для химических анализов, подсчитывать число бактерий, водорослей, простейших, зоопланктона.

Изучение зимней жизни водоемов — не самоцель, не просто получение информации для пополнения биологических знаний. Без доскональных гидробиологических исследований нельзя судить о состоянии водного биоценоза. Все химические загрязнения, попадающие в водоемы зимой, особенно опасны для населяющих их существ, поскольку в подледный период интенсивность процессов самоочищения в значительной мере снижена. Хотя в водоемы и не попадают дождевые смывы с полей, несущие органику

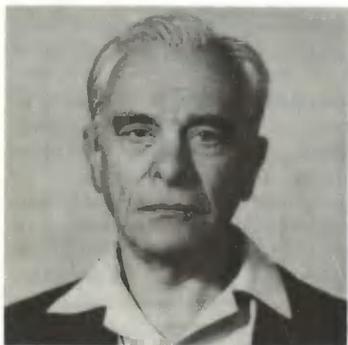
и инсектициды, но объем бытовых и промышленных стоков остается тем же, что и в летнее время. Однако разложение загрязняющих веществ идет намного медленнее, происходит их аккумуляция. А именно в этот период водоем населен видами, способными жить только в чистой воде и малоприспособленными к изменениям и ухудшениям условий жизни. Свидетельство тому, как неблагоприятно влияет на зимнее население водоемов хозяйственная деятельность человека, — Рыбинское водохранилище. При подробных исследованиях в нем зимнего зоопланктона в 1978—1981 гг. мы не обнаружили ни одного экземпляра *Notholca acuminata*, а ведь в 50-х годах этот вид был обычной в водохранилище зимней формой.

Изучение гидробиологического режима важно еще и потому, что жизнь озер, рек и водохранилищ изменяется и под воздействием сбросов тепловых и атомных электростанций. Через их охлаждательные системы проходят огромные массы воды, и водоемы-охладители почти не замерзают зимой. Исчезновение из фауны водоема обитателей холодной и чистой воды свидетельствует не только о загрязнении и нарушениях в его экосистеме. Выпадение из пищевой цепи какого-либо звена может повлечь за собой вымирание видов, занимающих верхнюю ступень в этой «пищевой иерархии». Обитающим в Плещеевом озере диаптомусом питается «переславская селедочка» — ряпушка (кстати, тоже холодолюбивый вид), многие виды подледного комплекса беспозвоночных Рыбинского водохранилища и Белого озера служат пищей для снетка (до той поры, пока не появятся летние планктонные ракообразные). Конечно же, гибель зимних форм этих беспозвоночных приведет к постепенному исчезновению из водного биоценоза и перечисленных промысловых рыб.

Таким образом, знание зимнего гидробиологического режима внутренних водоемов и невидимой жизни в них позволит предусмотреть и по возможности ослабить вредное воздействие, а следовательно, предотвратить разрушение водных экосистем.

Н. Е. Жуковский и эхо-импульсная дефектоскопия

М. А. Исакович



Михаил Александрович Исакович (1911—1982), доктор физико-математических наук, профессор, заведовал теоретическим отделом Акустического института им. Н. Н. Андреева АН СССР. Видный советский акустик, автор большого числа работ по теоретической и прикладной акустике, в том числе по эхолокации и эходефектоскопии.

Привычное не кажется удивительным — осваиваясь с каким-либо техническим новшеством, мы вскоре теряем способность правильно судить, насколько трудно дался успех. В результате подчас недооценивается роль ученых или инженеров, сделавших первые шаги к цели. Если еще учесть, что эту роль обычно заслоняют последующие работы, можно понять, почему зачастую труды первопроходцев отодвигаются с течением времени в тень или даже совсем забываются.

Все сказанное в полной мере относится к замечательному достижению ультразвуковой техники, прибору, позволяющему «видеть» внутри непрозрачных тел — эхо-импульсному дефектоскопу, называемому часто для краткости эходефектоскопом. Пионерская роль в его разработке принадлежит нашему выдающемуся соотечественнику, крупнейшему ученому в области теоретической механики и аэрогидродинамики, «отцу русской авиации» — Н. Е. Жуковскому. Однако его имя никогда не упоминают в связи с ультразвуковой дефектоскопией.

Для устранения этой несправедливости необходимо обратиться к работе Жуковского «О гидравлическом ударе в водопроводных трубах»¹. Но прежде вкратце познакомимся с существом и историей вопроса.

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ «ВИДЕНИЕ»

Ультразвук применяли для исследования непрозрачных тел еще до появления эходефектоскопов. Учитывая, что ультразвуковые волны, как и рентгеновские лучи, проходят через вещество независимо от его прозрачности для света, С. Я. Соколов в 1928 г. предложил «просвечивать» детали ультразвуком. Так действуют теневые ультразвуковые дефектоскопы, в которых дефект обнаруживают по «звуковой тени», образующейся в результате рассеяния ультразвуковых волн.

Этот способ, нашедший применение преимущественно при контроле листовых изделий, имеет ряд недостатков. В частности, он не позволяет различать дефекты, лежащие на одном луче, так как их тени накладываются друг на друга. Не удается также измерить расстояние от поверхности тела до дефекта. Контрастность теневой картины оказывается недостаточной из-за фона, создаваемого прошедшими волнами. Кроме того, малые (сравнимые с длиной волны) дефекты обнаружить та-

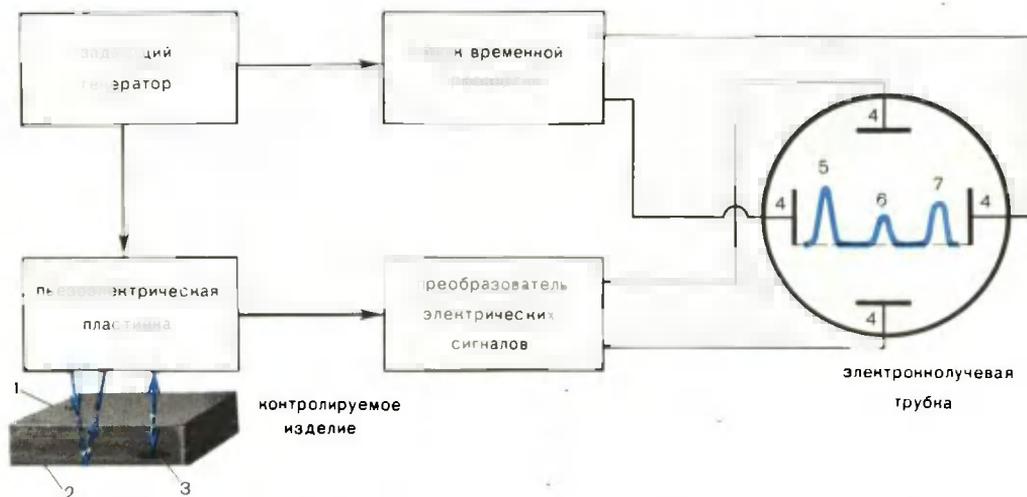
¹ Впервые опубликовано: Бюлл. Политехн. о-ва, 1899, № 5, с. 255. В дальнейшем цит. по: Жуковский Н. Е. Собр. соч. М.—Л., 1949, т. 3, с. 5.

ким способом нельзя, ибо ультразвуковая волна огибает их, не создавая тени.

Все эти недостатки устранены в эходефектоскопе, построенном на совершенно другом принципе: в нем регистрируется не излучение, прошедшее через тело насквозь, а эхо — сигналы, отраженные или рассеянные дефектами. При этом, в отличие от теневого способа, на объект направляют не непрерывный поток излучения, а короткие импульсы с тем, чтобы к моменту возвращения сигнала от какого-либо дефекта, излучение уже прекратилось, а эхо

ном фоне», а различие с ультрамикроскопом лишь в том, что в микроскопе мешающий свет попадает не туда, где принимают рассеянный свет, а в эходефектоскопе мешающий звук приходит не тогда, когда регистрируют эхо.

С помощью эходефектоскопа удается не только различать дефекты, лежащие на одном луче, но и измерять расстояние до них. Для этого пользуются электроннолучевой трубкой, подключенной к излучателю и приемнику. В момент посылки ультразвукового импульса электронный луч



от соседнего препятствия еще не пришло. Тогда в момент приема никакого фона нет, контрастность максимальна, и можно обнаружить даже столь слабый сигнал, как эхо от препятствия, меньшего длины волны ультразвука.

В этом отношении эходефектоскоп можно уподобить световому ультрамикроскопу для наблюдения частиц, малых по сравнению с длиной световой волны (и невидимых в обычный микроскоп). В ультрамикроскопе пучок, освещающий частицы, направлен так, что он не попадает в объектив. Поэтому свет, рассеиваемый частицей, заметен, как яркая блеска на темном фоне, несмотря на малость рассеянной световой энергии. В эходефектоскопе сигнал наблюдают тоже на «тем-

начинает чертить с постоянной скоростью прямую линию на экране трубки. Эхо отклоняет луч, изображая каждое препятствие в виде выступа на линии. Расстояние от начала линии до выступа соответствует времени распространения импульса от излучателя до препятствия и обратно. Зная скорости ультразвука в исследуемом теле и луча на экране трубки, нетрудно вычислить расстояние до препятствий. Чтобы сигналы, отраженные от разных препятствий, можно было различить, т. е. чтобы выступы на экране не перекрывались, длительность импульса должна быть меньше, чем двойное время его пробега между соседними дефектами!

Вскоре после появления эходефектоскопы стали широко применяться в биологии и медицине. Поскольку ультразвук заметно отражается от границ биологических сред, даже слабо отличающихся по своим свойствам, ультразвуковая диагностика дает сведения, которые нельзя получить в рентгенографии. Ультразвук незаменим в медицине еще и потому, что, в отличие от рентгеновских лучей, он со-

начинает чертить с постоянной скоростью прямую линию на экране трубки. Эхо отклоняет луч, изображая каждое препятствие в виде выступа на линии. Расстояние от начала линии до выступа соответствует времени распространения импульса от излучателя до препятствия и обратно. Зная скорости ультразвука в исследуемом теле и луча на экране трубки, нетрудно вычислить расстояние до препятствий. Чтобы сигналы, отраженные от разных препятствий, можно было различить, т. е. чтобы выступы на экране не перекрывались, длительность импульса должна быть меньше, чем двойное время его пробега между соседними дефектами!

вершенно безвреден в тех дозах, которые нужны для визуализации внутренних органов.

В наше время диагностические приборы усовершенствованы настолько, что позволяют видеть волосные трещины в крупных деталях, замечать начало разрушения топливных элементов атомных реакторов, указывать нарушения склейки слоистых конструкций, очерчивать границы внутренних опухолей у человека, проверять правильность положения плода в чреве матери, получать на телевизионном экране «разрезы» человеческого тела с деталями, которые иначе увидишь разве только в анатомическом театре, и т. д. С помощью ультразвуковых эходефектоскопов удается выявлять дефекты, размеры которых составляют доли микрометра.

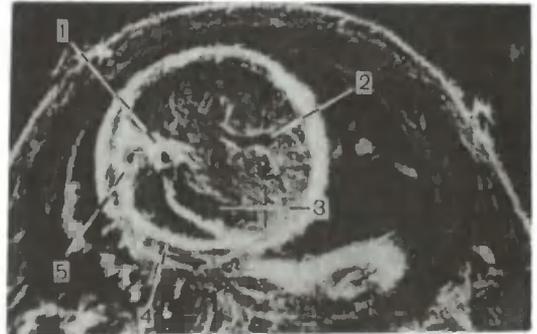
Эхо-импульсный принцип определения расстояния до препятствий перенесен в дефектоскопию из гидроакустики, где он успешно применялся в эхолотах и эхолотаторах. От них эходефектоскопы и позаимствовали свои составные элементы: излучатель звуковых импульсов, приемник эхо-сигналов и устройство временной развертки.

Сходство эхо-импульсных приборов так велико, что эхолотатор можно назвать эходефектоскопом морских глубин («дефектом» следовало бы тогда считать, например, подводную лодку) или эходефектоскоп — локатором дефектов. Но между ними есть и существенное различие — разница масштабов. В дефектоскопии требуется обнаруживать дефекты ничтожных размеров и, следовательно, применять колебания малой длины волны, или высокой частоты. Более длинные волны просто «не замечали бы» дефект. На практике в дефектоскопах частоты изменяются от 100 кГц до 100 МГц. В гидроакустике же пользуются частотами, обычно не превышающими десятков килогерц, поскольку поглощение ультразвука в воде быстро растет с частотой. Так, в морской воде звуковая волна с частотой 20 кГц через 100 м потеряет в результате поглощения 6,5% своей первоначальной энергии, а при частоте 1 МГц она поглотится на 99%.

Несколько отвлекаясь, обратим внимание на то, что звук дает нам единственный, пожалуй, способ заглянуть в морские глубины. Вода ведь прозрачна только в тонких слоях. Свет настолько сильно поглощается и рассеивается в ней, что в наиболее чистых водах открытого океана на глубине несколько сот метров вечную тьму нарушают лишь светящиеся живые

организмы. Еще хуже проникает в воду рентгеновское излучение, целиком поглощающееся на первых нескольких метрах. Даже радиолокатор, действующий в космическом пространстве и в атмосфере на огромные расстояния, в воде бессилён. Звук же может пересекать океаны — в одном из экспериментов подводный взрыв тротилового заряда весом всего в 2,7 кг удалось зарегистрировать на расстоянии 5750 км (на его преодоление звук потратил около часа).

Эхо-импульсный принцип наблюде-



Пример ультразвуковой диагностики в медицине — эхограмма человеческого зародыша на ранней стадии развития (до формирования плода): 1 — ворота; 2 — пупочная вена; 3 — желудок; 4 — ребро; 5 — позвоночники.

ния появился в технике только в XX в. Но в природе он существует с незапамятных времен. Дельфины, летучие мыши, некоторые виды птиц в процессе эволюции приобрели способность оценивать расстояние до препятствий с помощью эхо. Да и человек издавна применял звуковую локацию в воздухе, используя свой слух: в тумане единственным предупреждением морякам, приближавшимся к скалистому берегу, служило эхо. Слепой, постукивая палкой, слышит отражение звука от препятствий и вовремя уклоняется от них. Он надевает на палку металлический наконечник, чтобы звук ударов был коротким и не мешал восприятию эхо, приходящего от близких предметов через доли секунды.

Интересно, что указанная способность живых существ стала понятна именно после изобретения гидролокаторов и эходефектоскопов — в этом случае не бионика помогла создать новые приборы, а, наоборот, техника позволила разобраться в биологических явлениях!

НЕМНОГО ИСТОРИИ

Остановимся кратко на истории развития эхо-импульсных методов наблюдения. 30 июня 1804 г. в Петербурге академик Я. Д. Захаров вместе со знаменитым на всю Европу аэронавтом Робертсоном поднялись на воздушном шаре. В полете Захаров, обратив рупор к земле, крикнул в него. Примерно через 10 секунд его слова отозвались ясным эхом. Зная, что скорость звука в воздухе 340 м/с, он определил, что шар летел на высоте около 1700 м, и поразился, что звук распространяется по прямой, а эхо слышно на таком расстоянии. По существу, в этот день родился воздушный эхолот.

В 1807 г. Д. Араго, впоследствии известный физик и астроном, секретарь Парижской Академии наук, высказал мысль о возможности акустического эхолотирования в воде, однако она не привлекла особого внимания. Безуспешными оказались более поздние попытки американских исследователей обнаружить отраженные звуковых волн от дна, несмотря на то что они применяли достаточно мощный источник звука — взрыв петарды. Основная причина неудачи состояла в том, что сигнал принимали в воздухе, куда он почти не проходит (из воды в воздух, как и из воздуха в воду, проникает лишь 0,1% энергии падающего звука — остальное отражается обратно).

О подводной же локации, т. е. о регистрации эхо от отдельных объектов, например от подводной лодки, тогда и не помышляли. Ведь самих лодок, из-за которых главным образом возникло позже это направление, еще не было. Кроме того, представлялось очевидным, что звуковые волны, расходящиеся от предмета в разные стороны, создадут ничтожное эхо по сравнению с отражением от морского дна — а ведь даже это отражение не удавалось зарегистрировать.

В результате разочарованные инженеры на целых полвека забыли о гидроакустических приборах. Разговор о них возобновился только в 1904 г. — через сто лет после полета Захарова. К этому времени уже научились принимать звук под водой. Но возникла новая трудность — измерение малых промежутков времени. В те времена интерес представляла прежде всего возможность определения глубины на мелководье, а при расстоянии, скажем, 15 м звук (скорости распространения которого в воде почти в четыре с половиной раза больше, чем в воздухе) возвращался че-

рез 0,02 с. В действительности, однако, уже давно существовали устройства временной развертки, позволявшие идентифицировать даже более короткие временные интервалы. Такая развертка создается, например, в индикаторах с движущейся бумажной лентой и прижимающимся к ней пером, которое управляется принимаемыми сигналами.

Лишь после гибели в 1912 г. печально известного «Титаника», столкнувшегося ночью с айсбергом, вплотную занялись гидролокацией. Английский физик О. Ричардсон предложил применить для этой цели специальный ультразвуковой свисток и для получения направленного пучка ультразвука поместить его в фокус вогнутого зеркала. Ч. Парсонс, изобретатель паровой турбины, сконструировал такой свисток, однако он оказался непригодным для эхолотатора, ибо не давал достаточно коротких сигналов.

Требовался новый источник ультразвука. Им стала пьезоэлектрическая пластинка, совершившая подлинную революцию в ультразвуковой технике. Если такую пластинку поместить в высокочастотное электрическое поле, она будет колебаться, излучая ультразвук той же частоты. И наоборот, при воздействии акустических колебаний в пластинке появляется переменное электрическое напряжение. Поэтому с ее помощью легко испустить короткий ультразвуковой импульс, а затем принять отраженный сигнал. Первый патент на эхолот с таким излучателем и приемником звука был выдан в 1916 г. русскому инженеру Н. К. Шиловскому и известному французскому физику П. Ланжевону. Изобретение быстро завоевало признание, и вскоре выяснилось, что, направляя звуковой пучок от пьезоэлектрической пластинки не вниз, а в стороны, можно превратить эхолот в локатор.

Решающую роль в успехе эхолокации сыграло именно применение ультразвука. Только на высокой частоте получают акустические колебания большой мощности. Лишь короткие волны удается излучать узким пучком, позволяющим определить направление на препятствие. Наконец, при таких частотах сравнительно просто генерировать и принимать короткие импульсы, гарантирующие необходимую точность измерения времени распространения сигнала, а значит, и расстояния до препятствия.

Тем не менее создание подводных эхо-импульсных приборов устранило не все преграды на пути к эходефектоскопу.

В эхолоте или эхолокаторе звуковой импульс пробегает относительно большое расстояние и запаздывание эхо достаточно велико, так что аппаратура успевает переключиться с излучения на прием. Для дефектоскопов же это запаздывание ничтожно. Например, для дефекта, находящегося на расстоянии 25 мм от поверхности стальной детали, оно составляет примерно 10^{-5} с. Приборов с таким быстродействием еще не было (в гидроакустике оно вообще излишне). Потому-то ультразвуковая дефектоскопия и началась с теневых измерений, которые проводятся в непрерывном режиме без переключения.

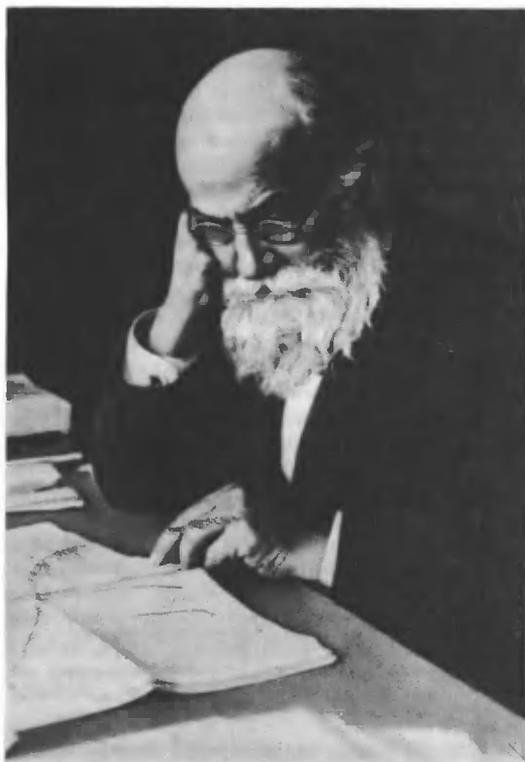
Но к этому времени появился радиолокатор. В радиолокации характерные расстояния не меньше, чем в гидроакустике, однако из-за огромной скорости радиоволн (в двести тысяч раз превышающей скорость звука в воде) время запаздывания эхо от самолета, пролетающего на расстоянии 1,5 км, составляет также около 10^{-5} с.

После разработки в радиолокации аппаратуры с требуемым быстродействием возникла реальная возможность создать ультразвуковой эходефектоскоп, и в 1942 г. Ф. Файрстон подал заявку на «Устройство для внутреннего... исследования твердых деталей, максимальный размер которых составляет 10 футов или менее, при помощи ультразвуковых волн».²

Короткий импульс ультразвука, временная развертка для определения места дефекта и отсутствие фона — вот те «три кита», на которых зиждется это изобретение, ставшее основой современных ультразвуковых диагностических приборов.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЖУКОВСКОГО НА АЛЕКСЕЕВСКОЙ ВОДОКАЧКЕ

А теперь перенесемся на полстолетия назад от момента выдачи Файрстону патента. В конце XIX в. профессор Московского университета, член-корреспондент Академии наук Н. Е. Жуковский заинтересовался многочисленными авариями труб на Московском водопроводе. Проведя опыты на модели водопроводной сети, устроенной им на территории водоканчки в селе Алексеевское под Москвой, он под-



Николай Егорович Жуковский
5(17). I 1847 — 17. III 1921

робно изучил причины аварий, указал способ их устранения и выполнил ряд других исследований, о которых речь впереди. Свои результаты он представил в Академию 13 мая 1898 г.

Что же привело Жуковского на Алексеевскую водоканчку?

В конце прошлого века Москва стала ощущать нехватку воды: старый Мытищинский водопровод, производительность которого составляла около 500 000 ведер в сутки, был уже не в состоянии удовлетворить потребности растущего города. Пришлось построить новый водопровод, от магистральных труб которого отвели узкие трубы распределительной сети. Их снабдили в разных местах задвижками, закрывая которые, отключали тот или иной участок водопровода. Вскоре, однако, выяснилось, что при закрытии задвижек зачастую происходят, как тогда говорили, гидравлические удары — внезапные повышения давления, в результате чего распределительные трубы лопаются. (В те времена водопроводные трубы изготавливали

² Указание на расстояние 10 футов — патентный обход эхолотов. Эхолоты не могли работать на столь малых расстояниях, в дефектоскопии же оно достаточно во всех случаях. Этим снимались возможные возражения против новизны устройства.

из чугуна, который плохо выдерживает растягивающие напряжения, возникающие при повышении давления внутри трубы.) Аварии случались только в длинных трубах, где задвижки находились далеко от места присоединения к магистрали. На коротких же трубах аварий не было, но почему — инженеры объяснить не могли.

Не очень ясно они представляли себе и что такое гидравлический удар. Вот как выглядело объяснение этого явления: поскольку вода практически несжимаема, то при закрывании задвижки она останавливается сразу по всей распределительной трубе, давление в которой резко поднимается, что и ведет к ее разрушению. Это напоминает опыт, описанный в «Занимательной физике» Я. И. Перельмана. В деревянный ящик, заполненный водой, стреляют из ружья, в результате чего он разлетается в щепки, тогда как в пустом ящике пуля пробивает лишь два небольших отверстия. Когда пуля проникает в ящик, вода не успевает вылиться через отверстие в стенке. В этом случае действительно проявляется почти полная ее несжимаемость, так что, хотя изменение объема воды и незначительно (равно объему пули), оно приводит к возникновению разрушительных сил в сотни килограммов.

Так выглядела картина разрыва водопроводных труб, и на ее основе борьба с авариями казалась безнадежной. Тем не менее заведующий Московским водопроводом Н. П. Зимин решил пригласить Жуковского, знаменитого своими теоретическими трудами, надеясь, что как гидравлик он сможет все же чем-нибудь помочь.

Люди практические знали, что хорошие теоретики зачастую — прекрасные инженеры, и Жуковский не раз продемонстрировал это в своих работах — недаром в 1911 г. по случаю 40-летнего юбилея профессорской деятельности ему было присуждено звание инженера *honoris causa*.

Приступая к работе, он, несомненно, знал все существующие труды по распространению волн в трубах с упругими стенками, связанные главным образом с объяснением физиологических (кровообращение) и звуковых явлений.

Сердце создает «гидравлический удар», посылая кровь по артериям. Кровь, как и вода, практически несжимаема, однако вследствие упругости стенок артерий этот удар (пульс) распространяется сравнительно медленно: прижав одну руку

к сонной артерии, а другую — к запястью, легко заметить его запаздывание. Если бы стенки артерий были абсолютно жесткими, скорость распространения пульса достигала бы почти полутора километров в секунду и кровь пробегала по всем артериям за время около 10^{-3} с.

Виднейшие теоретики XIX в. работали над теорией распространения волн в трубах, обобщая задачу на случай произвольной упругости стенок и учитывая помимо инерции жидкости инерцию стенок трубы и упругие силы, возникающие за счет их деформации. Однако Жуковский отмечает: «Инженеры, которые занимались этой задачей, не обратили внимания на то, что при весьма быстром закрытии задвижки вода останавливается... только у задвижки и это состояние... передается по трубе по закону распространения волнообразного движения. Я полагаю, что упомянутое обстоятельство было упущено потому, что наблюдения не делались над длинными трубами; в коротких же трубах, ввиду громадной скорости распространения ударной волны, поднятие давления представляется происходящим вдоль всей трубы одновременно».

Мы видим, что неясность была в том — сейчас это может нас удивить, — что скорость «ударной волны» считали бесконечной. Инженеры не связывали распространение волны в трубе с конечной скоростью звука.

За 10 лет до опытов Жуковского Г. Герц установил, что электромагнитные волны распространяются с конечной скоростью. Ее не замечали ранее, потому что для электромагнитных колебаний доступных в то время частот наблюдения проводились в области, много меньшей длины волны, т. е. там, где поле изменяется практически мгновенно. Герц же перешел на более высокие частоты — и волны сразу «проявили себя». Акустическая волна тоже не наблюдалась в коротких трубах, поскольку на расстояниях, малых по сравнению с ее длиной, вода представляется несжимаемой.

Жуковский подметил главное: гидравлический удар — это не мгновенное событие, аналогичное столкновению абсолютно твердых тел, а процесс, в котором состояние среды постепенно передается от одних участков к другим, так что, например, в одном месте трубы жидкость может покоиться, а в другом — двигаться.

Расчеты Жуковского очень громоздки — теоретическую часть его исследова-

ний можно изложить значительно компактнее. Сегодняшний читатель чувствует, что он попал в другую эпоху, с удивлением обнаруживая, что автор вначале выписывает точные (нелинейные) уравнения гидродинамики и лишь потом, линеаризуя их по малому параметру — отношению скорости потока к скорости звука (в экспериментах скорость воды в трубах не превышала 3 м/с, тогда как скорость звука в воде составляет 1270 м/с), приходит к уравнениям акустики.

Термин «ударная волна» Жуковский сохранил и для линейных уравнений (теперь его применяют лишь в нелинейных задачах), по всей вероятности, с тем, чтобы подчеркнуть отличие распространяющихся в трубе волн от синусоидальных, а, может быть, еще и потому, что как же иначе назвать столь резкое повышение давления, как не ударом?!

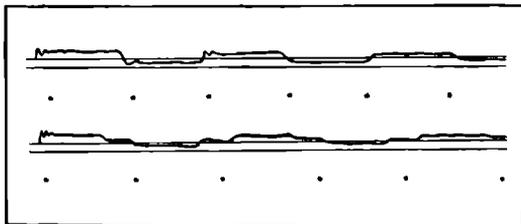
На сколько повысится давление в трубе при внезапном закрытии задвижки, найти несложно. Сначала вода остановится у задвижки. Затем, в соответствии с выводами Жуковского, сжатие и остановка воды будут передвигаться вдоль трубы «по закону распространения волнообразного движения», т. е. со скоростью звука. Пусть p — давление у задвижки, c — скорость звука в воде, S — площадь поперечного сечения трубы, ρ и v — плотность и скорость воды. Поток тормозится силой давления $S \cdot p$, по второму закону Ньютона импульс этой силы за время t равен изменению количества движения жидкости: $Spt = S\rho vct$, или $p = \rho vc$. Таким образом, при скорости 3 м/с давление возрастает на 40 атмосфер — величина уже небезопасная для чугунных труб³.

Для повышения точности расчетов Жуковский берет в качестве скорости волны в трубе скорость звука с учетом так называемой кортегевской поправки, которая для четырехдюймовой трубы с толщиной стенок 8 мм составляет примерно 12%⁴. Ясно, что эта поправка практи-

чески не изменит опасной ситуации с распределительными трубами водопровода. Она окажется, однако, существенной в другой части исследований Жуковского, о которой упомянем ниже.

ВОЛНЫ В ТРУБАХ И ИХ ОСЛАБЛЕНИЕ

Что же происходит в трубе после закрытия задвижки? Через время T , равное отношению длины трубы L к скорости волны c , вода сожмется и остановится, а давление по всей трубе от задвижки до



Диаграммы из статьи Н. Е. Жуковского [см. сноску 1], на которых воспроизводится регистрация давления в трубе двумя индикаторами, расположенными поблизости от задвижки. На этом и последующих рисунках по вертикали отложено давление, вдоль горизонтали через полсекунды наносятся отметки времени (точки). Здесь и далее кривая на каждой из диаграмм изображает качественную зависимость избыточного по отношению к атмосферному (нижняя прямая) давления от времени после остановки потока; верхняя прямая — уровень давления в магистрали.

магистрали повысится на ρvc . Поскольку сечение магистрали велико по сравнению с сечением распределительных труб, давление в ней почти не меняется. Следовательно, сжатый столб воды станет расширяться в сторону магистрали. Это вызовет в трубе течение, скорость которого равна по величине скорости потока до закрытия задвижки, но направлена в противоположную сторону. По истечении промежутка времени $2T$ дополнительное давление исчезнет, а задвижка станет препятствовать вытеканию воды. В трубе возникнет волна разрежения, которая победит от задвижки к магистрали со скоростью c . По прошествии времени $3T$ столб воды опять остановится, на этот раз — в растянутом состоянии. Наконец, через $4T$ давление во всей трубе восстановится и вода будет двигаться к задвижке, как в мо-

³ Сжатие воды при этом не превысит 0,2 %, так что, например, в трубе длиной 1 км столб воды укоротится всего на 2 м.

⁴ Эта поправка названа в честь голландского ученого Д. Кортевега, впервые описавшего пульсации крови как распространение волн в трубе с упругими стенками. Полученная им формула весьма изящна. Если c_1 — скорость звука в безграничной жидкой среде, а c_2 — скорость волны в трубе с упругими стенками, заполненной несжимаемой жидкостью, то скорость c волны в такой трубе с реальной

жидкостью определяется соотношением:

$$1/c^2 = 1/c_1^2 + 1/c_2^2.$$

В величине 1270 м/с эта поправка учтена.

мент ее закрытия, т. е. цикл замкнется. Этот процесс повторяется до тех пор, пока неизбежные потери энергии не погасят колебательное движение.

В опытах Жуковского удалось зарегистрировать 12 циклов пробега волны от задвижки к магистрали и обратно. Амплитуда волн постепенно уменьшалась вследствие трения о стенки трубы и частичного перехода энергии волны в магистраль.

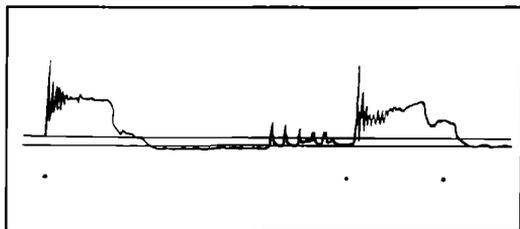
Подтвердив экспериментально свои расчеты, Жуковский предложил простой метод борьбы с повышением давления в распределительных трубах. На первый взгляд кажется, что опасность уменьшится, если закрывать задвижку постепенно. Увы, это не снижает максимальное давление, а только приводит к более плавному его нарастанию. Когда задвижка полностью закроется, вода у нее все равно остановится, давление поднимется на $\rho v c$ и будет распространяться вдоль трубы со скоростью c . Но Жуковский подметил, что, если закрывать задвижку достаточно медленно, волна разрежения дойдет до задвижки раньше, чем давление достигнет максимального значения, и прекратит его дальнейший рост.

Предположим, что давление вблизи задвижки повышается при ее закрывании равномерно. Его максимальное значение понизится в N раз, если отраженная волна придет за время, в N раз меньшее времени закрывания задвижки. Иными словами, следует сделать это время в N раз больше времени $2T$ пробега волны от задвижки к магистрали и обратно. Теперь ясно, почему короткие трубы не страдали от гидравлических ударов, хотя задвижки в них закрывались так же быстро. Ведь в коротких трубах время пробега волны значительно меньше времени закрывания задвижки.

Жуковский предложил заменить задвижки винтовыми кранами. На вращение маховичка крана тратится довольно много времени, так что волна успевает добежать до магистрали и вернуться обратно, положив конец дальнейшему росту давления. Пусть, например, в двухдюймовой трубе со скоростью потока 3 м/с , где при резком закрытии задвижки давление повышается до 40 атм. , требуется понизить его максимальное значение до 10 атм. Время пробега волны от задвижки до магистрали и обратно составит около $1,5 \text{ с.}$ Так как давление нужно уменьшить в 4 раза, задвижку следует заменить краном, который закрывается не менее 6 с.

Вместо крана можно использовать воздушный колпак — сосуд, заполненный воздухом и присоединенный к трубе возле задвижки. Даже малое количество воды, перешедшее при повышении давления в такой сосуд, устраняет опасность разрыва (чтобы снизить в двухдюймовой трубе длиной 1 км давление с 20 атм. до атмосферного, достаточно удалить из нее столб жидкости длиной 1 м , т. е. всего 2 л воды).

С учетом этих результатов задвижки заменили винтовыми кранами или снабдили



Диаграмма, изображающая явление кавитации. Отчетливо наблюдаются разрывы столба воды при растяжении (области отрицательного давления на диаграмме) и скачки давления в результате «схлопывания» разорвавшихся частей (пики в правой части диаграммы).

воздушными колпаками. Аварии на Московском водопроводе прекратились.

В процессе исследований Жуковский наблюдал ряд интересных явлений, которым он также дал исчерпывающее объяснение. Так, он обнаружил, что при очень большой скорости потока, когда давление у закрытой задвижки превосходило давление в магистрали, столб воды при приходе отраженной волны «разрывался» на части — наступала кавитация. Последующее «схлопывание» этих частей сопровождалось дополнительными скачками давления.

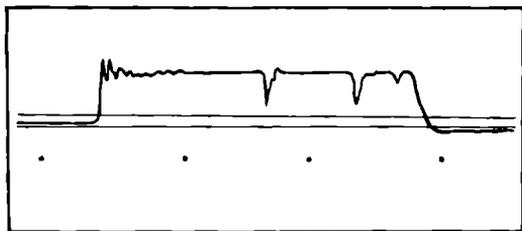
ПРООБРАЗ ЭХОДЕФЕКТОСКОПИИ

1 сентября 1897 г. для проверки выведенных формул Жуковский провел опыты, которые сначала «были признаны негодными, так как диаграммы прорезывались тремя щелями, которые с удивительным постоянством появлялись на одних и тех же местах».

Но он не забраковал «испорченные» диаграммы. Изучив свойства воздушных колпаков, он понял, что щели — не что

иное, как отражение волны сжатия от воздушных объемов, присоединенных к трубе (на ней остались патрубки от манометров), и решил «употребить упомянутую серию диаграмм для отыскания места этих колпаков». Вскоре он пришел к выводу о том, что «расстояния щелей диаграммы от начала дают двойное время пробега ударной волны до искомого воздушного колпака».

Исследовав диаграммы, Жуковский указал, на каком расстоянии от задвижки находятся эти колпаки⁵. Вот здесь-то и ока-



«Испорченная» диаграмма с тремя отражениями от воздушных колпаков (провалы на графике).

залась существенной кортевеговская поправка к скорости звука! Ее учет позволил значительно снизить систематическую ошибку в расчетах.

В девятнадцатом параграфе, названном «Определение при помощи ударной диаграммы места утечки в водопроводной трубе», читаем: «Подобно тому, как ударная диаграмма позволяет найти в трубе место скопления воздуха, она может обнаружить и место утечки... способ этого обнаружения, может быть, получит важное практическое значение».

Ученый оказался прав: этот способ лежит в основе всей современной эхо-дефектоскопии.

Жуковский провел опыты по обнаружению течи в трубе. С этой целью имеющиеся в ней отверстия поочередно от-

крывали и закрывали, получая «фонтаны» на разных расстояниях от задвижки. Эти же расстояния с высокой точностью определяли по диаграмме (в одном из опытов анализ диаграммы дал величину 132 саженей, а промер вдоль трубы — 135 саженей).

Жуковский, по существу, выдвинул идею эхо-импульсной дефектоскопии (хотя, конечно, у него нет и речи об ультразвуке, который был открыт значительно позже), создал необходимую теорию и впервые осуществил на практике проверку промышленного изделия.

Его исследования заставляют пересмотреть историю ультразвуковой эхо-дефектоскопии. К сожалению, они не получили достойного продолжения — судьба открытий не всегда представляет собой непрерывный путь развития первоначальной идеи. Обнаружение дефектов в промышленных изделиях стало возможным лишь спустя полвека и оказалось основанным на технических возможностях, которых при Жуковском еще не было.

Тем не менее работа Н. Е. Жуковского — замечательный провозвестник будущего изобретения. И мы до сих пор восхищаемся глубиной его понимания физических явлений, позволившей увидеть в «испорченной» диаграмме новый метод исследования — эхо-импульсную дефектоскопию.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

УЛЬТРАЗВУК (маленькая энциклопедия). М.: Советская энциклопедия, 1979.

Шрайбер Д. С. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ. М., 1965.

Ермолов И. Н. МЕТОДЫ ЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ. Курс лекций, ч. 1—2. М., 1966—1968.

⁵ Кроме того, он описал отражения в системе «задвижка—колпак». С аналогичными отражениями приходится сталкиваться, например, в эхолокации, когда в воде скапливаются рассеивающие звук организмы, что порождает эффект «ложного дна».

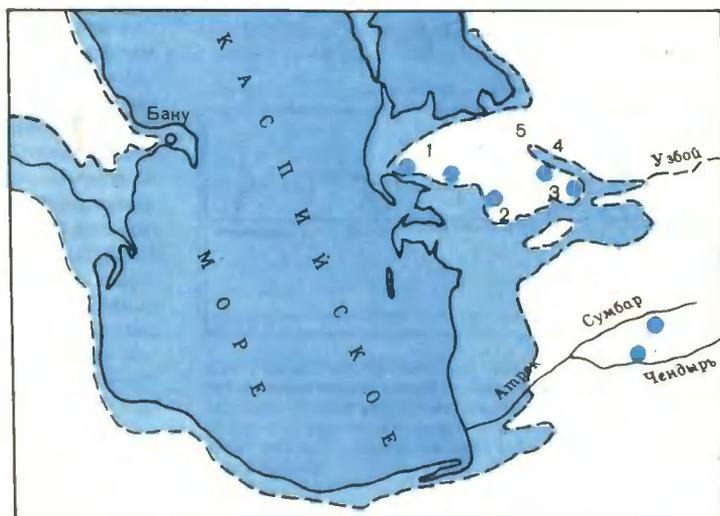
Первоначальное заселение Средней Азии

В. П. Любки,
доктор исторических наук
Ленинград

До последнего времени раннепалеолитические материалы Туркмении поражали своей скудостью и разобщенностью мест находок (Красноводский п-ов, Центральный Копетдаг, Бегарсландаг близ Узбоя, Бадхыз). Немногочисленность каменных изделий, единичность законченных орудий не позволяли судить об особенностях древнекаменного века этой области. По существу, находки эти лишь констатировали факт заселенности территории республики в эпоху палеолита.

Между тем географическое положение Туркменистана должно было сыграть особую роль при первоначальном расселении человечества. В Среднюю Азию и Казахстан, как предполагается, древнейшие люди проникли с юга, с территории Иранского нагорья и Индостана. Маловероятны маршруты первопроходцев через высочайшие горные системы Гиндукуша, Гималаев, Памиро-Алая и Тянь-Шаня (в периоды оледенений эти районы становились непроходимыми). Скорее всего, их пути пролегли через невысокие Туркмено-Хорасанские горы (средняя высота 1—2 тыс. м), северной частью которых является Копетдаг.

Об этом как будто свидетельствуют археологические данные: в ряде мест Средней Азии и Казахстана встречены ашело-мустьерские (700—35 тыс. лет назад) памятники (которые обнаруживают сходство с таковыми же на Ближнем Востоке), где были найдены целые комплексы леваллу-мустьерских каменных орудий с отщепами,



Раннехвалынский бассейн Каспия (по П. В. Федорову). Площадь, которую занимало море, обведена штриховой линией. 1 — Красноводское плато, 2 — Большой Балхан, 3 — Джанак, 4 — Кемальский залив, 5 — Туаркский перешеек. Кружками помечены палеолитические местонахождения — на реках Сумбар и Чендырь, по южному краю Красноводского плато и по западному берегу Кемальского залива.

пластинами, остроконечниками, простыми скреблами (Кайрак-кумские местонахождения в Таджикистане, Ходжикентский грот в Узбекистане, пещеры Страшная и Денисова на Алтае и стоянка Мойлытама в Монголии). Такие орудия неизвестны в Индостане, но широко представлены на Ближнем Востоке, поэтому гипотеза о глубинных ближневосточных истоках некоторых среднеазиатско-алтайско-монгольских кремневых индустрий принимается многими исследователями (например А. П. Окладниковым, В. А. Рановым, В. Е. Ларичевым).

Слабым звеном гипотезы заселения Средней Азии со стороны Ближнего Востока и Иранского нагорья до сих пор было отсутствие на территории Туркмении, и в первую очередь Копетдага, бесспорных памятников домустьерского возраста и леваллу-мустьерских изделий. Работы палеолитического отряда ЮТАКЭ (Южно-Туркменская археологическая комплексная экспедиция) в 1980—1981 гг. доставили первые материалы такого рода.

Материалы эти были обнаружены в двух районах Западной Туркмении: в юго-западном Копетдаге и Джанаке. Наиболее архаичные орудия встречены в юго-западном Копетдаге, в долинах пограничных с Ираном рек Сумбар и Чендырь, в районе распространения толщи надакганьских отложений. Отложения эти сложены переслаивающимися между собою суглинками, супесями и галечниками и являются постплиоценовым заполнением долин названных рек, налегающих непосредственно на

коренные (меловые) породы. К настоящему времени рыхлые надкакагыльские отложения глубоко и резко расчленены и образуют рельеф типа бедленда, имеющий вид множества однообразных мертвых холмов, низких увалов и бесконечно ветвящихся сухих долин и балок.

новых пород типа обсидиана, андезита, базальта. Поиски древним человеком сырья в долинах рек Сумбар и Чендырь привели его к опробованию местных пород, наиболее подходящим из которых оказался кремнистый известняк.

В более позднее (мусть-

в Западном Копетдаге имеют также важное палеогеографическое значение. Расположение их в полосе пустынных бедлендов допускает существование здесь в ашеле иной среды обитания. Использование этих находок в качестве временных реперов позволит судить о дина-



Долина р. Сумбар в окрестностях Кара-Калы. Холмы, на склонах которых найдены ашельские каменные орудия.

Древние, безусловно домустьерские, каменные орудия, рассеяны здесь на большой площади и встречаются, как правило, единичными экземплярами. Большая часть их найдена в высыпках галек на эродированных склонах холмов.

Орудия, собранные на склонах холмов и непосредственно в галечнике, имеют раннепалеолитические формы: чопперы и чоппинги (галки, один конец которых грубо приострен с одной или двух сторон), примитивные скребла, отщепы, массивные пластинчатые сколы и нуклеусы.

Западный Копетдаг, в отличие от Кавказа, исключительно беден породами, пригодными для изготовления каменных изделий. Здесь нет ни кремня, ни хорошо расщепляющихся ла-

верское) время начал использоваться также местный трещиноватый кремль желтоватого цвета. Каменные орудия мустьерского облика встречены здесь у подножий холмов или в галечнике останцев невысоких 15—20-метровых террас правого берега р. Чендыря. Часть мустьерских нуклеусов имеет левалуазские черепаховидные формы, есть и многоплощадочное ядрище для снятия пластинчатых заготовок.

Геолого-геоморфологические позиции и археологические характеристики обеих групп находок (мустьерской и более архаичной, возможно, раннеашельской) существенно подкрепляют гипотезу о движении расселяющегося человечества через «копетдагские ворота». Серьезную поддержку этой гипотезе оказали и недавние находки французского археолога К. Тибо на восточном фланге Копетдага, на территории Ирана, которые буквально дублируют открытия отряда ЮТАКЭ¹.

Палеолитические находки

мике многих природных процессов.

Не меньшую важность в этом отношении представляют сборы отряда в другом районе Западной Туркмении — на территории Красноводского плато и примыкающего к нему с востока Джанака (Заузбойского складчатого района). В период раннехвалынской трансгрессии Каспия, которая, по мнению специалистов, имела место в интервале 70—40 тыс. лет назад, воды Каспия покрывали всю Западно-Туркменскую низменность, большую часть Красноводского п-ова и проникала вглубь Каракумов вплоть до меридиана Кызыл-Арвата. Затопив Камаль-

¹Thibault C. Découverte de paléolithique archaïque dans de nord-est de l'Iran.— Résumés de communications IX Congrès Union Internationale des sciences préhistoriques et protohistoriques. Nice, 1976, p. 117.

скую впадину, море образовало здесь глубоко вдававшийся в сушу залив. Окруженная, таким образом, с трех сторон морем, приподнятая северо-западная часть Туркмении (к западу от нижнего Узоя и к северу от

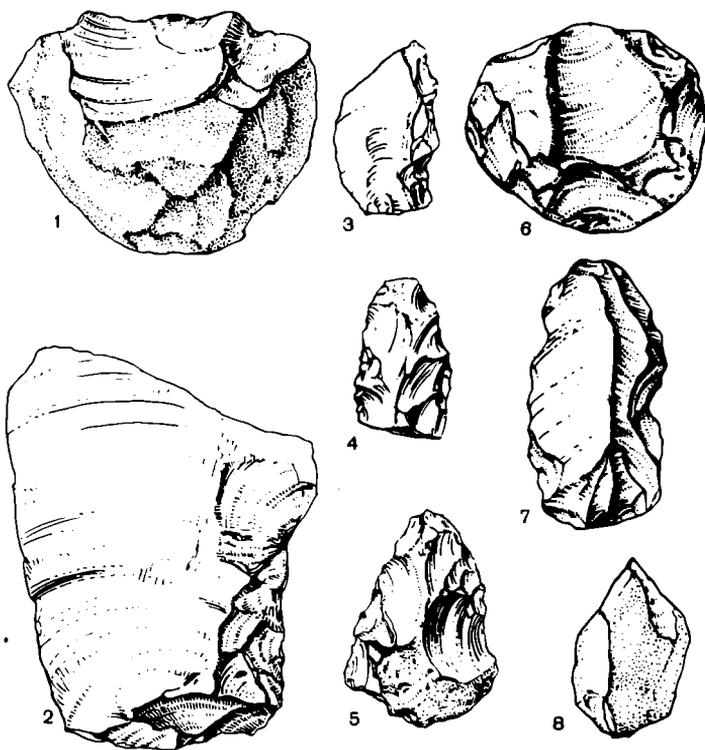
мустьерских людей. Следы их пребывания наиболее часты на побережьях этого полуострова: юго-западном (вдоль южного обрыва Красноводского плато — у подножия Куба-Дага и Кюрян-Кюре и вдоль южных пред-

горьятными из-за полуостровного положения — климатическими условиями. Последние в периоды трансгрессий Каспия вообще отличались большей влажностью, что предполагает существование здесь в ту пору и иных природных ландшафтов (возможно, лесостепи или тугаи).

На юго-западном побережье этого плейстоценового полуострова (северный берег современного Балханского залива) палеолитические находки связаны с береговыми валами и террасами хвалынского моря, имеют, таким образом, геолого-геоморфологическую привязку и относятся специалистами к ашелю (?), мустье, верхнему палеолиту и мезолиту². В составе этих сравнительно небольших сборов находятся двусторонне обработанные мустьерские орудия сердцевидной, треугольной и листовидно-удлиненной формы.

Гораздо более массовый материал собран на восточном побережье полуострова — в районе Кемальского залива раннехвалынского моря. Еще в 1962 г. А. М. Мандельштам собрал здесь у подножья края Бекарсландаг небольшую коллекцию мустьерских изделий³. Разведывательные маршруты 1981 г. проходили по юго-восточной половине бывшего залива, к западу от гряды Текеджик.

На разведанном участке, в 25—48 км к северо-западу от селения Бургун, обнаружена группа мустьерских и ашело-мустьерских местонахождений. Особый интерес представляют россыпи кремней на поверхности солончака в урочище Кызыл-Бурун. Кремь в россыпях,



Каменные орудия. 1 — чоппер (долина р. Сумбар); 2 — боковое вогнутое сребро на массивном отщепе (долина р. Чендырь); 3 — зубчатое сребро (Кызыл-Бурун); 4, 5 — двусторонне обработанные орудия (Алам-Куль и Кызыл-Бурун); 6 — черепаховидное ядрище (долина р. Сумбар); 7 — массивный пластинчатый скол (долина р. Сумбар); 8 — чоппинг (Коймат II)

горий Большого Балхана) и восточном (вдоль берега Кемальского залива).

Тяга людей к этой полуостровной территории может быть объяснена обилием здесь сырья для орудий (кремня разных достоинств и кварца — полевощпатного песчаника), разнообразием мест для обитания (соседство нескольких геоморфологических районов: Красноводского плато, гор Большого Балхана, южных отрогов Устюрта, а также Джанака с его чередованием длинных плосковершинных гребней и глубоких впадин), наличием скальных убежищ (навесов и гротов по южному краю Красноводского плато и в горах Большого Балхана), близостью моря с его определенными пищевыми ресурсами и, вероятно, более бла-

Балханского залива) оказалась полуостровом: лишь на севере ее связывал с «большой землей» (Устюрт) узкий Туаркырский перешеек. На этом полуострове — назовем его Кемальским — в условиях определенного обособления обитали, как показали археологические разведки, многочисленные группы ашельских и

² Борисковский П. И. Палеолитические местонахождения в Туркмении. — Кр. сообщ. Ин-та Археологии АН СССР, вып. XVIII. М., 1947; Окладников А. П. Палеолит и мезолит Средней Азии. — В сб.: Средняя Азия в эпоху камня и бронзы. М. — Л., 1966.

³ Абрамова З. А., Мандельштам А. М. Бекарсландаг — новый памятник каменного века в районе Узоя. — Булл. комиссии по изуч. четв. периода, № 47, М., 1977.

как правило, хорошего качества — меловой, серый или желтоватый, редко — красный. Искусственно расщепленные кремни составляют лишь 3—5%. Остальные являются естественными обломками, морозобой-

кремней и наличие нуклеусов и орудий со следами разновременных снятий и ретуши вызывают сомнения в хронологическом единстве этих материалов. Но в целом инвентарь Кызыл-Буруна является мустьерским.

скребло и зубчато-клювовидное орудие.

Материалы плейстоценового Кемальского п-ова впервые обрисовали характер и своеобразие мустьерской культуры северо-западной части республи-



Джанак. На плоской поверхности Кемальского солончака расположен Кызыл-Бурун. В глубине — гряда Текеджик.

ными сколами, желваками. Для изготовления орудий человек использовал как сколотые им отщепы и пластины, так и естественные обломки, плоские морозобойные сколы, плитчатые желваки. Поверхность многих кремней носит следы неоднократного пребывания в экстремальных условиях: морозобойные лунки, дефляционные ячейки, глянцевою корку пустынного загара. В то же время привлекает внимание группа кремней — наиболее архаичных по облику, — не затронутых ни физическим разрушением, ни пустынным загаром. Кремни эти покрыты лишь белесоватой патиной, являющейся, как предполагается, результатом иного химического выветривания (десилификации) их поверхностного слоя. Несколько экземпляров этих кремней частично облекает тонкая корочка известнякового натека.

Различия в состоянии поверхности палеолитических

Кремневый инвентарь другого кемальского местонахождения — Алам-Куль I — оказался заметно архаичнее. Состав и процент орудий примерно такие же, но их отличают большая грубость и невыработанность форм. Наиболее примитивный облик имеют скребла, изготовленные главным образом на плитчатых желваках и обломках, плоских морозобойных сколах и оформленные в основном крупной, однорядной, зубчатой ретушью. Но особенно интересны небольшие бифасиальные формы: подтреугольное, плоское, частичное ручное рубило и крупный фрагмент продолговатого листовидного орудия. Разнородность инвентаря Алам-Куль I вынуждает предварительно поместить его в широкие рамки ашело-мустьерских памятников.

Существование на Джанаке ашельских орудий подтверждает открытие здесь ашельской мастерской по первичному расщеплению камня. Мастерская расположена непосредственно на выходах мелкозернистого кварц-полевошпатного песчаника. Среди большого количества собранных здесь отходов производства встречены чопер,

не имеющей аналогов в Средней Азии и как будто тяготеющей к более северным и западным районам (Устюрт, Мангышлак, Северный Кавказ). Наиболее интересным компонентом этой культуры являются леваллуазские формы и двусторонне обработанные орудия.

Вероятность культурных и иных контактов древнейших обитателей района Кемальского п-ова — Устюрта — Мангышлака с Северным Кавказом допустима, если принять во внимание возможность существования в предхвалынское время прямых сухопутных связей между Северным Кавказом и Мангышлаком (глубокая регрессия привела в то время к осушению всей северной части Каспия).

Работы отряда ЮТАКЭ в 1980—1981 гг., дополненные находками Тибо на р. Кешефруд, позволили, таким образом, высказать некоторые соображения в отношении особенностей культуры и природного окружения древнейших обитателей Туркмении, направлений их культурных связей, а также путей первоначального заселения территории этой области и Средней Азии в целом.

ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 1983 ГОДА

По физике — С. Чандрасекар и У. А. Фаулер

Нобелевская премия по физике 1983 г. присуждена американским астрофизикам-теоретикам С. Чандрасекару за исследование строения и эволюции звезд и У. А. Фаулеру за изучение ядерных реакций в звездах и создание теории образования химических элементов во Вселенной.

*

Субраманьян Чандрасекар (Subrahmanyan Chandrasekhar) родился 19 октября 1910 г. в г. Лахоре (сейчас второй по величине город Пакистана). В 1930 г. окончил Президентский колледж университета в Мадрасе и затем переехал в Кембридж (Англия), где в 1933 г. получил степень доктора философии. В 1936 г. он переехал на постоянное жительство в США. С 1937 г. по настоящее время С. Чандрасекар работает в Йеркской обсерватории при Чикагском университете, в котором и преподает (с 1942 г. — профессор). С. Чандрасекар член Лондонского королевского общества, Американской академии искусств и наук, Национальной академии наук США, Индийской академии наук.

Шведская академия наук объявила о присуждении Нобелевской премии С. Чандрасекару в день его 73-летия. В решении Академии подчеркивается, что его исследование строения и эволюции звезд приобрели особую актуальность в последние годы в связи с быстрым прогрессом астрономии и космических исследований. Принимая поздравления, С. Чандрасекар сказал корреспондентам: «Мои работы вообще получают признание только по прошествии определенного времени». Он разъяснил, что его основное открытие в теории звезд, отмеченное Нобелевской премией, он сделал свыше 50 лет назад, когда направлялся на пароходе из Индии в Англию.



С. Чандрасекар

История этого открытия такова. В 1910-е годы были определены размеры слабого звездного спутника ярчайшей звезды неба Сириуса. Этот спутник получил имя Сириус В. Масса Сириуса В была найдена по законам небесной механики еще в прошлом веке: с точностью в несколько процентов она равнялась массе Солнца. Но радиус Сириуса В оказался по крайней мере в 50 раз меньше солнечного. Таким образом, средняя плотность этого спутника в сотню тысяч раз превосходила плотность «нормальных» звезд (и плотность воды). Астрономы были поражены этим результатом. К 20-м годам стало известно уже несколько подобных звезд, которых назвали «белыми карликами» — по их цвету и размерам. К этому времени стало ясно, что нормальные звезды состоят из идеального полностью ионизованного газа — классической плазмы. Удалось успешно объяснить ряд закономерностей, связывающих параметры звезд. Однако белые карлики этим закономерностям не подчинялись.

Первым природу белых

карликов понял английский физик Ральф Г. Фаулер (1889—1944). В 1926 г. он показал, что при необычайно высоких плотностях белых карликов в образующей их плазме решающую роль играют квантовые эффекты. Р. Фаулер применил для описания электронной компоненты плазмы белых карликов только что открытую квантовую статистику Ферми—Дирака. Оказалось, что даже при температуре недр белого карлика в десятки миллионов градусов электронный газ является вырожденным, т. е. его давление почти не зависит от температуры (оно определяется только концентрацией электронов) и значительно превосходит давление классической плазмы, обеспечивая равновесие с силами гравитации, стремящимися сжать белый карлик. Из теории Р. Фаулера следовала однозначная связь радиуса R и массы M : $R \sim M^{-1/3}$, т. е. с ростом массы размеры белого карлика должны уменьшаться. Эта зависимость обратна закономерности $R(M)$ для нормальных звезд, тем не менее казалось, что равновесие холодной звезды возможно при любых значениях масс, характерных для звезд (меньших 100 солнечных масс). Светимость белых карликов не зависит от их массы (ведь температура не дает вклада в равновесие) — вопреки свойству нормальных звезд и в соответствии с данными наблюдений белых карликов. Теория Фаулера стала первым успешным приложением статистики Ферми — Дирака. Небезынтересно отметить, что П. Дирак был учеником Р. Фаулера. К кембриджской школе Р. Фаулера принадлежит и С. Чандрасекар.

Итак, на пути из Индии в Кембридж С. Чандрасекар понял, что при определенных плотностях, достижимых в недрах белых карликов, теория Р. Фаулера должна быть изме-

нена. Дело в том, что в вырожденном газе импульс электронов растет с плотностью. Пропорционально импульсу увеличивается и скорость электронов, но только до тех пор, пока она значительно меньше скорости света. При плотности около 10^6 г/см³ скорость электронов уже сравнима со скоростью света и дальше расти не может, несмотря на рост импульса. Поскольку давление в газе определяется произведением концентрации частиц, их импульса и скорости, при высоких плотностях оно растет медленнее, чем при низких. А это означает, что с ростом массы белый карлик должен сжиматься все сильнее, его плотность становится все выше, и все большая доля электронов приобретает околосветовые скорости. Давление вырожденного газа при этом все хуже противодействует росту гравитационных сил, и небольшая добавка массы может привести к катастрофе — неустойчивому сжатию (коллапсу) звезды. В 1931 г. С. Чандрасекар публикует знаменательный результат: его расчет показал, что при массе больше $5,75 M_{\odot} \mu_e^{-2}$, где μ_e — среднее число нуклонов на один электрон, M_{\odot} — масса Солнца, равновесие для вырожденного карлика вообще невозможно. Поскольку для элементов тяжелее водорода характерное значение $\mu_e = 2$, чандрасекаровский предел массы равен всего лишь $1,4 M_{\odot}$.

Неожиданный вывод С. Чандрасекара был далеко не сразу воспринят астрономами. Ведь массы очень многих звезд превосходят этот предел, и вывод С. Чандрасекара лишил эти звезды надежды на спокойное существование в «старости», после исчерпания ядерных источников энергии. Основатель теории строения звезд А. Эддингтон назвал вывод о предельной массе *reductio ad absurdum* (доведением до абсурда) основных положений теории. Однако С. Чандрасекар продолжал упорно работать у Р. Фаулера над теорией вырожденного газа и к 1935 г. в серии статей опубликовал обширные расчеты равновесных моделей и новой зависимости масса — радиус для белых карликов. Точнее

всего эту зависимость можно было проверить по Сириусу В, так как среди белых карликов он обладает наибольшей из достоверно измеренных масс. Согласно полученным С. Чандрасекаром зависимости, массе $M = 1 M_{\odot}$ отвечает радиус $R = 0,01 R_{\odot}$. Но наблюдения 1910—1920-х годов давали для Сириуса В значения радиуса, в два раза большие. Повторить эти наблюдения нельзя было до 1960-х годов, так как блеск Сириуса В в 10^4 раз слабее блеска Сириуса А, а удаляется он от Сириуса А на достаточное для проведения наблюдений расстояние не чаще, чем раз в 50 лет. В 60-х и 70-х годах Сириус В уже наблюдали с помощью лучших наземных телескопов, а также ультрафиолетовых и рентгеновских телескопов, установленных на спутниках. Теория С. Чандрасекара была блестяще подтверждена. Так, можно сказать, что полувековой период обращения звезды косвенно повлиял на полувековую задержку с присуждением С. Чандрасекару Нобелевской премии.

Свои исследования С. Чандрасекар подытожил в книге «Введение в учение о строении звезд» (вышла в 1939 г., переведена на русский язык в 1950 г.). Однако этим его вклад в теорию звезд не ограничился. Совместно с М. Шёнбергом в 1942 г. им построена теория нормальных звезд с изотермическим ядром, у которых в центральных областях выгорел водород. Развитие этой теории смогло объяснить так называемую ветвь красных гигантов. Огромная работа была проведена С. Чандрасекаром по расчетам механизмов рассеяния и поглощения излучения, а также по развитию теории переноса (монография «Перенос лучистой энергии», 1950 г., русский перевод 1953 г.). Без этой работы нельзя было бы построить корректную теорию звездных атмосфер и правильно интерпретировать наблюдения множества звезд (в частности, того же Сириуса В).

В последние годы теория сверхплотных звезд подтверждается все новыми данными. Открыто несколько тысяч белых карликов. Стало ясно, что переход в состояние белого карлика — это судьба большинства звезд типа нашего Солнца.

Проверена наблюдениями теория остывания белых карликов, раскрывается механизм их образования, успешно объяснены необычные спектры белых карликов и открытые на некоторых из них пульсации. Понятие о пределе массы полностью преобразило теорию конечных стадий эволюции звезд. Было предсказано, что массивные звезды в результате коллапса должны превращаться в нейтронные звезды или черные дыры. Нейтронные звезды открыты в виде радио- и рентгеновских пульсаров. Ни одна статья по теории сверхновых звезд не обходится без понятия чандрасекаровского предела.

В 1950-е годы С. Чандрасекар переходит к исследованию труднейших задач магнитной гидродинамики, важных не только для теории звезд, но и для физики плазмы и управляемого термоядерного синтеза. Совместно с Э. Ферми он выполнил фундаментальные исследования гравитационной устойчивости в присутствии магнитного поля. Работы по конвекции, устойчивости и магнитной гидродинамике освещены в самой большой монографии С. Чандрасекара «Гидродинамическая и гидромагнитная устойчивость» (1961 г.). Не менее велико влияние на физику плазмы такой книги С. Чандрасекара, как «Принципы звездной динамики» (1943 г., русский перевод 1948 г.). Рассмотренные там механизмы динамического торможения, парной релаксации были прямо перенесены в теорию плазмы, так как закон Кулона подобен закону тяготения Ньютона. В 1960-е годы С. Чандрасекар получил (частично совместно с Н. Лебовицем) фундаментальные результаты в теории вращающихся звезд («Эллипсоидальные фигуры равновесия», 1969 г., русский перевод 1973 г.).

Работоспособность и обязательность С. Чандрасекара необыкновенны. С 1952 по 1971 г. он был главным редактором крупнейшего в США астрофизического журнала "Astrophysical Journal" и при этом ни на день не прерывал своей научной работы. Существует легенда, что в 40-е годы его трудные

для понимания лекции посещало всего два студента. С. Чандрасекар регулярно ездил из Йеркской обсерватории в Чикагский университет за несколько десятков километров, чтобы читать свои лекции для двоих. Эти двое были Ц. Ли и Ч. Янг — нобелевские лауреаты по физике 1957 г. Сейчас трудно сказать, так ли это было на самом деле (ведь когда Ц. Ли был студентом, Ч. Янг уже получил степень доктора философии в Чикагском университете). Во всяком случае, достоверно известно, что дипломная работа Ц. Ли, выполненная под руководством Э. Ферми, называлась «Содержание водорода и механизм выделения энергии в белых карликах».

В последние годы С. Чандрасекар проводит труднейшие расчеты в релятивистской астрофизике, физике вращающихся черных дыр. Лет десять назад группа американских астрофизиков занялась задачей расчета пульсаций и устойчивости сверхплотных вращающихся звезд с учетом всех эффектов общей теории относительности, в том числе гравитационного излучения. Эта задача настолько трудна, что выписывание основных уравнений решили поручить ЭВМ, обученной проводить аналитические выкладки. С. Чандрасекар занялся той же задачей, когда работа первой группы была уже в самом разгаре. Тем не менее он сумел «вручную» вывести эти уравнения быстрее ЭВМ — его статья (совместно с Дж. Фридманом) появилась на месяц раньше, чем работа упомянутой группы.

Влияние работ и монографий С. Чандрасекара в разных областях физики очень велико, но его роль в теории звезд — особая. Теория эволюции звезд создана коллективным трудом международного сообщества ученых. Несомненно, что С. Чандрасекар — один из самых выдающихся исследователей, превративших эту теорию в настоящую физическую науку, предсказания которой подтверждаются все новыми наблюдательными фактами.

С. И. Ближников,
кандидат физико-математических наук
Москва

*

Уильям Альфред Фаулер (William Alfred Fowler) родился 9 августа 1911 г. в Питтсбурге (США, штат Пенсильвания). В 22 года он окончил университет Огайо и был зачислен в аспирантуру Калифорнийского технологического института (Калтех). Вскоре, в конце 1933 г., У. Фаулер начал работать под руководством Ч. Лауритсена.



У. А. Фаулер

Это было славное время экспериментальной ядерной физики: в 1932 г. Дж. Чэдваик открыл нейтрон (Нобелевская премия 1935 г.), сотрудник Калтеха К. Д. Андерсон обнаружил в космических лучах позитрон (Нобелевская премия 1936 г.), а Дж. Д. Кокрофт и Э. Т. С. Уолтон осуществили первую ядерную реакцию под действием искусственно ускоренных протонов — реакцию расщепления лития в 1932 г. Дж. Чэдваик (Нобелевская премия 1951 г.). Ч. Лауритсен с сотрудниками переоборудовали высоковольтную рентгеновскую трубку в ускоритель и к моменту прихода У. Фаулера уже вели интенсивную работу по получению нейтронов с помощью искусственно ускоренных частиц. Молодой и энергичный У. Фаулер в течение 3 лет участвует в серии экспериментов группы Лауритсена по облучению легких химических элементов (лития, бериллия, бора, азота,

фтора) протонами и дейтронами; в результате в 1936 г. он получает степень доктора философии за диссертацию на тему «Радиоактивные элементы с малыми атомными числами».

В 1937—1938 гг. У. Фаулер вместе с Ч. и Т. Лауритсенами, сконструировав новый электростатический ускоритель, начинают серию тонких экспериментов по выяснению характеристик резонансных ядерных реакций и свойств возбужденных состояний легких атомных ядер. Однако вторая мировая война прервала эти работы.

В 1946 г. У. Фаулер вместе с Ч. и Т. Лауритсенами возвращается к ядерным исследованиям и становится вдохновителем и фактически руководителем (с 1946 г. он — профессор Калтеха) новой темы — систематического и тщательного измерения скоростей тех ядерных реакций, которые могут протекать в недрах звезд, и прежде всего Солнца. Можно без преувеличения назвать 1947 г. началом экспериментальной ядерной астрофизики. Основы теоретической ядерной астрофизики были заложены в 1938—1939 гг. Х. А. Бете (Нобелевская премия 1967 г.) и К. Ф. фон Вейцзеккером, которые, чтобы объяснить выделение энергии в звездах, предложили две последовательности ядерных реакций синтеза гелия из водорода: протон-протонную цепочку и углеродно-азотный цикл. Однако точность в оценке сечений отдельных реакций была невысокой. Было даже неясно, как завершается протон-протонная цепочка после первых двух реакций: ${}^1\text{H}(p, e^+ \nu){}^2\text{D}$, ${}^2\text{D}(p, \gamma){}^3\text{He}$.

Период с 1947 по 1954 г. в научной биографии У. Фаулера можно назвать эпохой экспериментального обоснования и детальной разработки процесса синтеза гелия из водорода. Тогда и были сделаны два важнейших для теории и наблюдений вывода: что реакция ${}^{14}\text{N}(p, \gamma){}^{15}\text{O}$, как самая медленная в углеродно-азотном цикле, определяет скорость выделения энергии и приводит к сравнительно быстрой переработке в ${}^{14}\text{N}$ более 90% углерода и, как выяснилось позже, кислорода, а также, что отношение кон-

центраций стабильных изотопов углерода $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ примерно равно 4.

В 1951 г. У. Фаулер и Э. Шацман независимо установили, что реакция $^3\text{He}({}^3\text{He}, 2p){}^4\text{He}$ завершает протон-протонную цепочку. Необходимо отметить, что сечения ядерных реакций удастся измерить в лаборатории при энергиях, как правило, существенно превышающих эффективную энергию взаимодействия частиц в звездном веществе. Поэтому получение надежных данных о скорости протекания ядерных реакций в недрах звезд — дело непростое, связанное с экстраполяцией к низким энергиям и поэтому требующее как можно более точных измерений при энергиях, минимально доступных в эксперименте. Результаты, полученные У. Фаулером и его коллегами, а также уточнение содержания тяжелых элементов в звездном веществе позволили к середине 50-х годов с уверенностью рассматривать протон-протонную цепочку как главный механизм генерации солнечной энергии.

В 1952—1953 гг. Э. Э. Солпитер и Ф. Хойл независимо изучали проблему синтеза более тяжелых элементов из гелия — продукта термоядерного горения водорода. Выполненный Хойлом анализ показал, что углерод ^{12}C , образующийся при тройном столкновении α -частиц, быстро захватывает еще одну α -частицу и превращается в кислород ^{16}O . Отсюда следовало, что в природе должно быть очень мало углерода по сравнению с кислородом. Но это противоречило наблюдениям — космическая распространенность ^{12}C близка к распространенности ^{16}O . Расхождение могло бы и не быть, если бы ядро ^{12}C имело возбужденное состояние с энергией 7,65 МэВ и со спином и четностью 0^+ , не учтенное при вычислениях скорости 3α -реакции. С этой проблемой Хойл приехал в Калтех, и при содействии Фаулера нужный уровень углерода был быстро обнаружен!

В 1954 г. началось сотрудничество У. Фаулера с английскими астрономами супрагми Е. М. и Дж. Р. Бербиджами, которые при спектраль-

ных наблюдениях некоторых звезд обнаружили аномально высокое содержание в их атмосферах тяжелых элементов. В результате родилась идея о том, что в звездах при последовательных захватах нейтронов (так называемый s-процесс) идет синтез химических элементов. А в 1952 г. П. Меррилл с помощью 2,5-метрового телескопа обсерватории Маунт Вильсон получил спектры звезды-гиганта R And, в которых обнаружил линии поглощения технеция — самого легкого, не имеющего стабильных изотопов элемента. Так было получено прямое доказательство синтеза химических элементов в звездах.

В ноябре 1952 г. на одном из островов Тихого океана США взорвали термоядерное устройство под кодовым названием «Майк». При анализе проб вещества с места взрыва было обнаружено два ранее неизвестных химических элемента с атомными номерами 99 и 100 (их назвали соответственно эйнштейнием и фермием), а также ряд новых изотопов более легких элементов. Ни у кого не было сомнений, что эйнштейний и фермий образовались под действием короткого по времени, но чрезвычайно интенсивного облучения изотопов урана нейтронами. Фаулер, Бербиджи и Хойл, работавшие в то время над проблемой происхождения химических элементов в звездах, быстро оценили научное значение взрыва «Майк». Ведь при взрывах сверхновых звезд можно ожидать еще больших потоков нейтронов! Так впервые был сформулирован механизм синтеза тяжелых химических элементов путем быстрого захвата нейтронов (или r-процесс). С тех пор r-процесс занял прочное место в фундаменте теории происхождения химических элементов.

К середине 50-х годов уже не оставалось никаких сомнений, что химические элементы рождаются в естественных термоядерных котлах — звездах. Основы теории синтеза химических элементов в звездах были изложены в фундаментальной работе Бербиджей, Фаулера и Хойла, вышедшей в 1957 г. в «Reviews of Modern Physics».

Происхождение всех наблюдаемых в природе химических элементов объяснялось с помощью восьми процессов. Наиболее важные из этих процессов — медленный и быстрый захват нейтронов (s- и r-процессы), в результате которых образуются химические элементы тяжелее железа, вплоть до свинца и висмута, а также уран и торий; α -процесс, объясняющий происхождение химических элементов от магния до кальция, и e-процесс — образование элементов группы железа.

В середине 50-х годов Р. Дэвис начал осуществлять уникальную программу обнаружения солнечных нейтрино. У. Фаулер сразу же оценил ее значение и с характерным для него оптимизмом всеми силами помогал ее осуществлению. В 1958 г. впервые было измерено сечение реакции $^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$, оказавшееся неожиданно большим. Фаулер сразу построил две новые ветви протон-протонной цепочки реакций, одна из которых приводила к испусканию энергичных нейтрино при распаде неустойчивого ядра бора ${}^8\text{B}$. Согласие между теорией и экспериментом Дэвиса во многом зависит от интенсивности испускания Солнцем именно «борных» нейтрино. Однако выход этих нейтрино в значительной степени обусловлен температурой в центре Солнца; возможно, решение проблемы солнечных нейтрино будет найдено на пути построения нетрадиционных моделей Солнца с несколько пониженной центральной температурой. У. Фаулер указал на одну из таких возможностей — модель Солнца в отсутствие полного теплового равновесия. Другой эффект, приводящий к снижению центральной температуры Солнца, — крупномасштабное перемешивание его центральных областей — был рассмотрен Д. А. Франк-Каменецким².

¹ Подробнее об этом см.: Раймонд Дэвис: «Главное — мы видим сигнал от солнечных нейтрино». — Природа, 1983, № 8, с. 70.

² Франк-Каменецкий Д. А. Лея солнечные нейтрино. — Природа, 1968, № 10, с. 111.

За последние два десятилетия с участием У. Фаулера было сделано множество первоклассных работ в области теоретической и экспериментальной ядерной астрофизики. В 1962 г. в связи с проблемой радиогалактик У. Фаулер и Ф. Хойл начали строить модели сверхмассивных звездоподобных объектов и тем самым предвосхитили открытие квазаров, сделанное в 1963 г. В 1964 г. совместно с Ф. Хойлом им была написана книга «Нейтронные процессы и образование пар в массивных звездах и сверхновых» (переведена на русский язык в 1967 г.), в которой были изложе-

ны конечные стадии эволюции массивных звезд. В 1967 г. совместно с Ф. Хойлом и Р. Вагонером был рассчитан синтез химических элементов в расширяющейся горячей Вселенной и показано, что таким путем можно объяснить наблюдаемые распространенности ^2D , ^3He , ^4He и ^7Li ; более тяжелые элементы здесь не возникают и должны синтезироваться в звездах. Продолжалось также исследование деталей s-, p-, α - и e-процессов. Велась большая работа по систематизации и уточнению экспериментальных данных о многочисленных полезных для астрофизики

ядерных реакциях. Были составлены подробные таблицы скоростей термоядерных реакций, которыми пользуются не только астрофизики, но в последнее время и физики, создающие «звездную плазму» в земных лабораториях.

У. Фаулер — один из главных творцов новой науки — ядерной астрофизики, поразительные успехи которой во многом обязаны его энтузиазму и неослабевающей энергии исследователя.

Д. К. Надежин,
кандидат физико-математических наук
Москва

По медицине — Б. Макклиток

Нобелевская премия по медицине за 1983 г. присуждена американскому генетику Барбаре Макклиток за открытие подвижных элементов генома.

Б. Макклиток (Barbara McClintock) родилась 16 июня 1902 г. в Хартфорде (штат Коннектикут, США). Закончила Корнеллский университет и в 1927 г. получила диплом доктора. В те годы женщине-биологу непросто было найти постоянную работу, и Б. Макклиток в течение ряда лет приходилось часто менять место работы. Так продолжалось до 1942 г., пока, наконец, она не была приглашена в генетическую лабораторию института Карнеги «Колд Спринг Харбор» близ Вашингтона. В 1944 г. она была избрана в Национальную академию наук США. Б. Макклиток до сих пор работает в этой лаборатории, которую сейчас возглавляет Дж. Уотсон, нобелевский лауреат 1962 г.

Вся научная деятельность Б. Макклиток неразрывно связана с кукурузой, ставшей единственным и постоянным объектом ее пристального внимания. Надо сказать, что кукуруза — один из классических объектов генетических исследований — играет в генетике растений почти такую же роль, как плодовая мушка дрозофила в генетике животных.

Исследования, выполнен-



Б. Макклиток

ные Б. Макклиток на кукурузе, открыли новую страницу в генетике. Эта была первая работа, опровергшая существовавшие тогда представления о стабильности генетического аппарата клетки.

Предметом изысканий Б. Макклиток был механизм возникновения окраски зерен в початке кукурузы. Дело в том,

что зерна кукурузы могут быть окрашенными, не окрашенными или «пятнистыми», когда на неокрашенном фоне образуются окрашенные пятна различной величины. Как известно, тот или иной признак организма определяется генами — отдельными участками хромосом, которые контролируют этот признак, а наследственные изменения обуславливаются мутациями — нарушениями в структуре этого гена.

Отчего появляется пятнистость? С позиций классической генетики ее можно было бы объяснить необычайно высокой частотой мутаций соответствующих генов. Однако исследования Б. Макклиток опровергли эти допущения. Ей удалось показать, что отсутствие окраски обусловлено специальным генетическим элементом, находящимся рядом с геном окраски и контролирующим выработку пигмента.

Если в какой-нибудь клетке в результате разрыва хромосом этот элемент отделяется от гена окраски, то клетка и ее потомство оказываются окрашенными. Этот элемент, своеобразный «прыгающий» ген, получил название хромосомного

¹ McClintock B. The origin and behavior of mutable loci in maize.— Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A., 1950, v. 36, p. 344; *idem*. Chro-

mosome organization and genetic expression.— Cold Spring Harbor Sympos. Quant. Biol., 1951, v. 16, p. 13.

диссоциатора. Он расположен в гетерохроматиновом районе и регулярно вызывает разрыв в сегментах с ним участках хромосомы.

Присутствие хромосомного диссоциатора рядом с геном, ответственным за пигментацию, очевидно, подавляет работу этого гена, и зерно остается неокрашенным. В целом же окраска зерна определяется временем отрыва хромосомного диссоциатора от гена окраски: если это происходит до начала образования зерна — зерно окрашено целиком, если во время формирования зерна — на белом фоне возникает окрашенный сектор или точки.

Размеры этих секторов могут быть различными, что связано с моментом перемещения хромосомного диссоциатора в ходе онтогенеза: чем раньше произошел разрыв, тем окрашенные пятна крупнее, так как соответствующая клетка «успеет» дать достаточно большое потомство; чем позднее — тем окрашенный участок меньше, поскольку на более поздних стадиях развития проходит сравнительно мало клеточных делений. Таким образом, отсутствие этого «прыгающего» элемента позволяет гену окраски выполнить свои функции.

Хромосомный диссоциатор не обязательно утрачивается после разрыва, а может занять другое место в той же хромосоме (в результате инверсии) или в другой. Хромосомный диссоциатор может вызвать разрыв в точке переноса, и тогда его перемещение влечет за собой стабильную мутацию оказавшегося рядом гена.

Способность диссоциатора вызывать хромосомные разрывы находится под контролем другого генетического элемента, так называемого гена-активатора. Существует, таким образом, система активатор—диссоциатор, элементы которой располагаются часто в разных хромосомах. Однако они могут быть соединены в один блок и перемещаться целиком. Оказывается, что ген-активатор необходим для вставок и транслокаций диссоциатора. При увеличении числа генов-активаторов размер окрашенных пятен уменьшается. По-видимому, ак-

тиватор задерживает время действия гена-диссоциатора, определяя таким образом не только его способность вызывать разрывы хромосом, но и момент развития, когда должны произойти эти разрывы.

Сейчас предполагают, что ген-активатор кодирует ферменты, участвующие в процессе рекомбинации, и вызывает перемещение диссоциатора в области расположения определенных генов, а также способствует его удалению из соответствующего участка ДНК.

Сам ген-активатор, как и ген-диссоциатор, подвижен, а удаление его с помощью специальных скрещиваний прочно фиксирует положение диссоциатора в геноме. Таким образом, Б. Макклиток в результате своих исследований фактически открыла новый генетический компонент, способный приводить геном в состояние нестабильности. Эта нестабильность была открыта много лет спустя и у других объектов, в частности у дрозофилы, что позволило говорить о некоем общем феномене.

Так, новосибирские генетики впервые продемонстрировали явление нестабильности генома в природных популяциях дрозофилы². Оказалось, что в различных популяциях дрозофилы, обитающих в самых различных областях нашей страны — в Подмоскowie, на Украине и на Дальнем Востоке — время от времени наблюдается повышенная частота некоторых мутаций, приводящих к изменению цвета тела, формы щетинок, аномальному строению брюшке. Среди таких мутантов встречаются и нестабильные, часто возвращающиеся к норме и напоминающие, таким образом, в своем проявлении те закономерности, которые были описаны Б. Макклиток.

Работы Б. Макклиток привлекли к себе особенно пристальное внимание в 60-е годы, когда Ф. Жакоб и Ж. Моно, также нобелевские лауреаты, открыли механизмы регуляции

генной активности у прокариот. Оказалось, что у них существуют специальные гены-регуляторы, кодирующие синтез специфического продукта ингибитора, который тормозит активность структурных генов, объединенных в функциональные блоки — опероны. Некоторые вещества — индукторы — могут связывать ингибитор и таким образом активировать опероны, снимая блокаду транскрипции.

Вначале полагали, что система активатор — диссоциатор работает по тем же принципам, что и генная регуляторная система у прокариот.

Однако тот факт, что эффект связан в данном случае с перемещением регулирующего элемента, позволил в последующем сблизить открытые Б. Макклиток контролирующие элементы с феноменом подвижных генов.

Этот феномен первоначально был обнаружен у прокариот в лабораториях П. Шарлингера и П. Зедлера (ФРГ). Выяснилось, что фрагменты ДНК различных размеров, названные инсерционными сегментами (размеры — 500—1500 пар оснований) и транспозонами (размеры — более 2000 пар оснований), способны встраиваться в геном и, наоборот, вычлениваться из хромосом. При этом и инсерционные сегменты, и транспозоны существенно влияют на работу смежных с ними структурных (или регуляторных) генов³. Иными словами, наличие те самые свойства, которые проявляют контролирующие элементы у кукурузы, открытые Б. Макклиток.

Позднее сходные с транспозонами элементы были найдены у эукариот — у дрозофилы и мыши. Наличие подвижных элементов в геноме эукариот было независимо доказано группой советских исследователей под руководством Г. П. Георгиева в 1977 г., и американскими генетиками под руководством Г. Хогнесса.

Эти элементы были названы мобильными диспергирован-

² Голубовский М. Д., Иванов Ю. И., Захаров Н. К., Берг Р. Л. — Генетика, 1974, т. 10, № 4, с. 72.

³ Подробнее см.: Гершензон С. М. Прыгающие гены. — Природа, 1979, № 1, с. 89.

ными генами (МДГ) в силу того, что они, во-первых, у разных особей располагаются в различных участках хромосом и, во-вторых, представлены во множестве копий, рассеянных по всему геному.

В последние годы в нашей стране и за рубежом детально исследованы особенности организации мобильных диспергированных генов и выдвинута гипотеза о роли этих элементов в нестабильности генома. Успешная работа в этом направлении группы наших исследователей (Ананьев Е. В., Бавев А. А., Газдев В. А., Ильин Ю. В., Краев А. С., Крамеров А. Д., Рысков А. Г., Скрябин К. Г. и Чуриков Н. А.) во главе с Г. П. Георгиевым)

была отмечена Государственной премией СССР 1983 г.

Таким образом, в наши дни изучение нестабильности генома и поиски ее молекулярного механизма составляют одно из центральных направлений в генетике. Работа, сделанная почти 30 лет назад Б. Макклиток, предвосхитила результаты молекулярно-генетических исследований последних лет, когда с помощью методов генной инженерии было показано, что многие спонтанные мутации вызваны вставками или делециями фрагментов ДНК различной длины, а отнюдь не точечными мутациями-замещениями отдельных нуклеотидов, как думали раньше.

Присуждение Нобелев-

ской премии по медицине за 1983 г. Б. Макклиток — заслуженное признание ее большого вклада в науку. Ее пионерские работы значительно углубили наши знания о работе генетического аппарата клетки и послужили основой для формирования нового направления в генетике, которое сегодня активно развивается.

Интересно отметить, что Б. Макклиток — лишь седьмая женщина в длинном списке нобелевских лауреатов и лишь третья из них, которая получила награду одна.

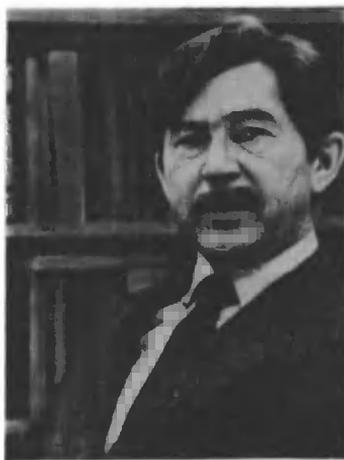
Л. И. Корочкин
доктор биологических наук
Москва

По химии — Г. Таубе

Нобелевская премия по химии за 1983 г. присуждена американскому специалисту в области неорганической химии Генри Таубе за его работы по механизмам реакций с переносом электрона, в частности в комплексах металлов.

Г. Таубе (Henry Taube) родился 30 ноября 1915 г. в Саскатуне (Канада). В 1940 г. он окончил Калифорнийский университет в США, а с 1962 г. является профессором химии Станфордского университета (Калифорния).

Г. Таубе стал сотым по счету лауреатом Нобелевской премии по химии. Следует также отметить, что после целого ряда присуждений премии за биохимические исследования, премии этого года вновь удостоен цикл работ по «чистой» неорганической химии. По-видимому, одной из причин выбора именно этого цикла является признание важности проблемы переноса электрона для целого ряда областей науки: кроме окислительно-восстановительных реакций в растворах — основной области научных интересов Г. Таубе — эта проблема возникает при изучении многих биологических



Г. Таубе.

процессов, а также окислительно-восстановительного катализа и ряда вопросов современной электроники. В работах Таубе был накоплен обширный материал¹, который позволил затем

обобщить и теоретически осмыслить полученные результаты. В настоящее время трудами большого числа химиков-неоргаников, физхимиков и химфизиков теория переноса электронов между ионами различного строения развита довольно глубоко и позволяет не только объяснить полученные результаты, но в ряде случаев и предсказать их.

Особенно активно деятельность Г. Таубе и его сотрудников протекала в 60—70-е годы. Таубе изучил большой цикл реакций переноса электрона между комплексами переходных металлов в растворах. Такие металлы содержат в электронной оболочке так называемые d-электроны, число которых может быть переменным. Ионы этих металлов в растворах могут обмениваться электронами, при этом ион, принимающий электрон от другого иона, называется окислителем, а ион, отдающий электрон, — восстановителем.

Обмен электронами, как показали Г. Таубе и многие другие исследователи, может происходить по двум механизмам — внешнесферному и внут-

¹ См, напр.: Taube H. Recent progress in the study of inner-sphere electron transfer reactions.— Pure and Appl. Chem., 1970, v. 24, N 1, p. 289.

рисферному. При внешнесферном механизме электрон перескакивает с иона-восстановителя на ион-окислитель благодаря туннелированию (подбарьерному переносу), которое становится возможным при достаточном сближении двух ионов и соответствующей перестройке их окружения — так называемой внутренней координационной сферы, включающей ионы противоположного знака или дипольные молекулы, окружающие ион переходного металла. Ионы или молекулы, входящие в координационную сферу, называются лигандами.

Наиболее важные достижения Г. Таубе связаны с его изучением так называемого внутрисферного переноса электрона. В этом переносе, как показал Г. Таубе, участвует один из лигандов координационной сферы металла, который в процессе превращения становится «мостиком» между двумя ионами. Для исследования этого механизма Таубе применил остроумный подход, основанный на глубоком понимании особенностей поведения различных ионов в растворах: одни из них прочно удерживают свою координационную сферу, другие легко обменивают ионы и молекулы своей координационной сферы на ионы и молекулы, находящиеся в растворе. По строению ионов, образующихся при обмене электронами, можно сделать вывод о механизме (внутри- или внешнесферном) переноса электрона в растворе.

Мостиками в процессе переноса электронов могут быть как простые неорганические ионы (например, анионы хлора или брома), так и сложные органические молекулы или ионы. Очень важное значение для внутрисферного переноса электронов, как показал Г. Таубе, имеет природа мостиковой частицы. Для случая лигандов, представляющих собой органические молекулы или ионы, перенос электрона протекает особенно эффективно, если лиганд способен служить посредником: принимать электрон от иона-восстановителя или отдавать свой электрон иону-окислителю. Таким образом, в этом случае электрон передается поэтапно:

сначала лиганд принимает электрон (или отдает свой электрон), а затем он отдает электрон окислителю (или закрывает образовавшуюся «дырку» электроном восстановителя). Естественно, для осуществления такого механизма лиганд должен содержать соответствующие электронные орбитали с подходящей энергией.

В механизме внутрисферного переноса электрона в качестве промежуточного этапа участвует комплекс, содержащий два иона металла, соединенных мостиковым лигандом (так называемый биядерный комплекс). Во многих случаях такие комплексы лишь постулируются, так как их время жизни очень мало, но существует целый ряд примеров, когда с помощью различных физических методов их можно обнаружить, а иногда и выделить в чистом виде. Большой интерес представляют работы Г. Таубе, связанные с изучением переноса электрона внутри таких биядерных комплексов. Исследуя спектры этих комплексов, Г. Таубе показал, что одна из полос спектра может быть отнесена к переносу электрона между ионами комплекса (так называемому переносу заряда).

Ряд работ Г. Таубе и его сотрудников связан с изучением комплексов металлов с различными молекулами: кислородом, азотом и др. Особенно интересны его исследования 60-х годов по комплексам молекулярного азота, выполненные на заре становления этой области координационной химии. (Первый комплекс азота с соединениями рутения был получен косвенным путем из гидразина А. Д. Алленом и К. В. Зенофом в Канаде в 1965 г., а через год в СССР впервые наблюдалось образование аналогичного комплекса с участием молекулярного азота².) В 1967 г. Г. Таубе показал, что молекулярный азот может замещать молекулу воды в координационной сфере комплекса рутения в водном растворе, образуя прочный комплекс.

Затем он обнаружил, что молекула азота может быть мостиком в биядерном комплексе (содержащем два иона рутения), осуществляя связь одновременно с обоими этими ионами. С помощью элегантного приема Таубе показал, что молекула азота может вращаться в координационной сфере комплекса рутения, поворачиваясь к иону то одним, то другим своим атомом.

Хотя изученные Г. Таубе комплексы оказались неспособными к дальнейшим реакциям молекулярного азота в координационной сфере металла, полученные им результаты оказали значительное влияние на дальнейшее развитие исследований по химической фиксации азота в растворах комплексов переходных металлов и способствовали обнаружению систем, в которых азот теряет свою инертность и реагирует с образованием производных гидразина, в которых азот претерпевает восстановление до гидразина или аммиака. Реакции такого координированного азота — это также фактически перенос электронов, при котором молекула азота выступает акцептором электронов, претерпевая восстановление до гидразина или аммиака. Однако в данном случае электроны двигаются не поочередно, а в едином коллективном процессе, и роль катализатора (им могут быть полиядерные комплексы молибдена, ванадия и других элементов) заключается в переключении механизма от одноэлектронного к многоэлектронному³.

Процессы переноса электрона привлекают все больший интерес химиков, биохимиков, физиков. Окислительно-восстановительные реакции, включающие сложный перенос электрона, происходят в таких важнейших биологических процессах, как фотосинтез, биологическая фиксация азота, дыхание и др. Работы Г. Таубе вносят существенный вклад в понимание этих процессов.

Член-корреспондент АН СССР
А. Е. Шилов

² Шилов А. Е., Шилова А. К., Бородин Ю. Г. — Кинетика и катализ, 1966, т. 7, с. 768.

³ См., напр., в кн.: Проблемы фиксации азота. Под ред. Р. Харди. М., 1982.

Космические исследования Продолжение экспедиции на «Салют-7»

В сентябре — октябре 1983 г. космонавты В. А. Ляхов и А. П. Александров продолжили работу на орбитальной научной станции «Салют-7», начатую 28 июня 1983 г.

К середине сентября космонавты завершили разгрузку транспортного грузового корабля «Прогресс-17»; 17 сентября 1983 г. в 15 ч 44 мин (здесь и далее — время московское) «Прогресс-17» отстыковался от орбитального комплекса, а на следующий день его полет был завершён.

19 сентября закончился также полет корабля-спутника «Космос-1443», который 10 марта был состыкован с орбитальной научной станцией «Салют-7» и до 14 августа функционировал в составе орбитального комплекса. В ходе дальнейшего автономного полета корабля от него был отделен возвращаемый аппарат с материалами исследований, выполненных космонавтами.

Экипаж «Салюта-7» продолжал вести разнообразное научно-технические исследования и эксперименты. В эксперименте «Резонанс» определялись динамические характеристики орбитального комплекса, величины действующих на него нагрузок и оценивалась долговечность отдельных элементов конструкции.

По-прежнему много времени космонавты уделяли фотографированию и визуально-инструментальным наблюдениям отдельных районов суши и акватории Мирового океана, метеорологических явлений, пылевых и дымовых загрязнений атмосферы. Использовалась фото- и спектрометрическая аппаратура, а также визуальный ручной колориметр «Цвет-1».

Эти исследования велись по заданиям специалистов различных отраслей народного хозяйства.

С помощью масс-спектрометрической аппаратуры «Астра-1» измерялись параметры атмосферы вблизи станции.

Несколько циклов экспериментов по космическому материаловедению были осуществлены на установках «Пион» и «Электротопограф». Так, с помощью «Пиона» (прибора для исследований особенностей невесомости) изучались особенности теплопереноса и физики многофазных сред в условиях невесомости. Протекающие процессы регистрировались на кинолентку, видеомагнитфонную ленту и записывались с помощью голографической аппаратуры. Высокочувствительные акселерометры во время экспериментов измеряли микроускорения на борту орбитального комплекса.

Вторая серия экспериментов на установке «Пион» была посвящена изучению физики многофазных сред в условиях микрогравитации; исследовались перемещения газовых включений в неравномерно нагретой жидкости под действием термокапиллярных сил. В третьей серии экспериментов в условиях невесомости выращивались кристаллы индия методом вытягивания из расплава.

В двух очередных сериях опытов отработывались методы оценки состояния конструктивных материалов, подвергающихся воздействию открытого космоса, непосредственно на борту станции. В первой серии образцы помещались в шлюзовую камеру, а за их состоянием следили с помощью аппаратуры «Электротопограф».

Вторая серия этих экспериментов выполнялась по расширенной программе, в соответствии с результатами обработки образцов и электротопограмм, доставленных на Землю возвращаемым аппаратом корабля-спутника «Космос-1443». В экспе-

риментах использовались более чувствительные к электрическому полю фотопленки, была увеличена длительность экспонирования материалов в открытом космическом пространстве. Космонавты фотографировали исследуемые образцы на цветную пленку, определяли их цвет с помощью визуального ручного колориметра и атласа цветности.

По-прежнему периодически проводились комплексные медицинские обследования космонавтов. Исследовались, в частности, состояние сердечно-сосудистой системы как в покое, так и под воздействием физической нагрузки, биоэлектрическая активность сердца, реакция системы кровообращения на дозированную физическую нагрузку; измерялась масса тела, оценивалось состояние отдельных групп мышц. Много времени космонавты уделяли физическим упражнениям.

Космические исследования

Новые спутники Венеры

Автоматические межпланетные станции «Венера-15 и -16», запущенные 2 и 7 июня 1983 г., в октябре 1983 г. достигли окрестностей планеты Венера.

На траекториях перелета к Венере продолжалось изучение характеристик космических лучей солнечного и галактического происхождения в условиях межпланетного пространства, свободного от влияния магнитосферы Земли. Подобные измерения были начаты еще в 1965 г. станцией «Венера-2».

«Венера-15» вышла в расчетную точку околопланетного пространства 10 октября 1983 г.; в 6 ч 05 мин по московскому времени была включена двигательная установка станции,

обеспечившая перевод ее на вытянутую эллиптическую орбиту искусственного спутника Венеры с периодом обращения около 24 ч; 14 октября 1983 г. в 9 ч 22 мин на орбиту искусственного спутника Венеры с периодом также около 24 ч была выведена «Венера-16».

По своему назначению и составу научной аппаратуры обе станции аналогичны друг другу. Основная цель их полета по орбитам искусственных спутников Венеры — комплексные дистанционные исследования поверхности планеты и ее атмосферы. Для этого обе станции оснащены идентичными комплектами научной аппаратуры.

Основной прибор каждой станции — радиолокатор бокового обзора для получения изображений поверхности путем радиозондирования планеты. Уже 16 октября «Венера-15» провела первый сеанс радиозондирования планеты. Впервые с высоким разрешением были получены уникальные радиолокационные изображения недоступных для наблюдения с Земли участков поверхности Венеры — Северной приполярной области площадью более 1 млн км². На изображениях различаются ударные кратеры, гряды возвышенностей, крупные разломы, уступы, горные хребты и детали рельефа размером 1—2 км. Обнаружены различные по своей природе геологические образования, указывающие на длительность активной тектонической жизни планеты и сложность протекающих на ней геологических процессов.

20 октября 1983 г. «Венера-16», вслед за «Венерой-15», передала на Землю снятые через облака новые изображения поверхности планеты; при этом радиолокационной съемкой с орбиты искусственного спутника Венеры была охвачена полоса в районе Северного полюса планеты длиной 9 тыс. км и шириной 150 км. На снимках, отличающихся высоким качеством, видны отдельные геологические образования, различные ландшафтные зоны, детали рельефа. Уже первые результаты по радиозондированию поверхности Венеры, полученные от станций «Венера-15» и «Венера-16», имеют фундаменталь-

ное научное значение для понимания как геологической истории Венеры, так и Земли.

В течение первого месяца полета станций вокруг планеты планировалось провести коррекцию траекторий их движения для формирования рабочих орбит. Затем будет начато систематическое радиозондирование планеты, включающее детальное радиокартографирование сквозь облачный слой поверхности в северной полярной области Венеры. Предполагается исследовать территорию общей площадью около 60 млн км².

В октябре 1983 г. приборы станций провели измерения температуры поверхности, состава и свойств атмосферы и облачного слоя Венеры. В этих исследованиях использовался, в частности, инфракрасный фурье-спектрометр. Приборы, созданные совместно учеными СССР и ГДР и изготовленные в ГДР, позволяют регистрировать спектр теплового излучения Венеры в диапазоне волн 5—30 мкм. Специалисты надеются, что с орбиты будет определен вертикальный профиль температуры венерианской атмосферы, исследовано содержание водяного пара и озона в атмосфере планеты, а также содержание в ней малых примесей, прояснится загадочный пока физический механизм перемещения циклонических вихрей в атмосфере.

С. А. Никитин

Москва

Космические исследования

«Вертикаль-11»

Продолжаются исследования в области космической физики по программе сотрудничества социалистических стран «Интеркосмос». Один из основных видов работ в этом направлении — запуски исследовательских зондов с помощью ракет типа «Вертикаль». 20 октября 1983 г. с территории Европейской части СССР в средних широтах был успешно осуществлен запуск «Вертикали-11».

Научная аппаратура зонда, предназначенная для исследования коротковолнового излучения Солнца, разработана и изготовлена специалистами Wrocławской лаборатории Центра космических исследований АН ПНР, Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР и Астрономического института АН ЧССР. Ранее подобные эксперименты проводились на исследовательских ракетах «Вертикаль-1» (1970), «Вертикаль-2» (1971), «Вертикаль-8» (1979) и «Вертикаль-9» (1981).

В состав научного комплекса «Вертикали-11» вошли: рентгеновский зеркальный телескоп и камеры-обскуры, предназначенные для получения фотографий Солнца в мягкой рентгеновской области спектра с целью исследования пространственной структуры солнечной короны; приборы созданы совместно польскими и чехословацкими специалистами;

рентгеновский прибор для измерения скоростей движения плазмы в солнечной короне, основанный на эффекте Доплера; изготовлен польскими специалистами;

советско-польские рентгеновские спектрометры, в задачу которых входило получение спектров высокого разрешения от активных областей Солнца для изучения их физических параметров, в частности, плотности, электронной и ионной температур, скоростей направленных движений;

солнечный рентгеновский телескоп, с помощью которого с высоким временным разрешением измерялись вариации рентгеновского потока излучения; цель эксперимента — исследование нестационарных процессов в солнечной атмосфере; над созданием телескопа работали специалисты СССР и ЧССР.

Все научные приборы размещены в специальном астрофизическом зонде, который был отделен от ракеты на восходящем участке траектории, на высоте 95 км. Затем была включена научная аппаратура, проведено ее ориентирование и стабилизация на Солнце с точностью около 10 угловых секунд. Зонд продолжал подъем до высоты 500 км.

При спуске на высоте около 95 км от зонда отделился контейнер с научной аппаратурой, который совершил мягкую посадку на Землю с помощью парашютной системы. Вес контейнера с научной аппаратурой составлял 760 кг. К месту приземления контейнера прибыла поисковая бригада, в состав которой входили авторы научных экспериментов. Вскрытие контейнера показало, что приземление прошло успешно, научная аппаратура сохранена. Таким образом, получен обширный научный материал для дальнейшей обработки и интерпретации.

М. А. Римше
Москва

Космические исследования

Гигантские грозы на Сатурне

Сотрудники Центра космических полетов им. Годдарда НАСА (Гринбелт, штат Мэриленд, США) завершили анализ магнитных данных, полученных с борта автоматических межпланетных станций «Вояджер» при их полете в окрестностях Сатурна.

При этом, в частности, были обнаружены короткие, длительностью 15—400 мс, всплески широкополосного радиоизлучения, напоминающие разряды статического электричества. Похожие явления происходят при молниевых разрядах на Земле. В последние годы большое внимание уделялось также наблюдениям молний на Венере и Юпитере.

Разряды, зарегистрированные «Вояджерами», следуют друг за другом через регулярные промежутки времени, что говорит о вращении их источника с периодом 10 ч 10 мин. Период вращения самого Сатурна вокруг оси несколько больше — 10 ч 39,4 мин, поэтому высказывалось предположение, что источник разрядов находится в области колец планеты, на удалении около 50 тыс. км от ее

поверхности. (Электрический заряд может возникать при столкновении частиц, составляющих кольца.)

Излучение при разрядах охватывает весьма широкую полосу частот — от 40 МГц до 20 кГц. В то же время из-за высокой плотности электронов в ионосфере Сатурна любые сигналы с частотами ниже 1 МГц не могут проходить, согласно оценкам, из атмосферы во внешнее пространство, к приборам «Вояджера». Поэтому делался вывод, что облака в атмосфере Сатурна не являются источником разрядов, и отдавалось предпочтение гипотезе о генерации этих разрядов в кольцах.

С другой стороны, известный планетолог Дж. Бернс (J. A. Burns, Корнеллский университет, Итака, штат Нью-Йорк, США) высказал предположение, что кольца планеты могут отбрасывать тень на приэкваториальную область ионосферы и эта тень способна настолько уменьшить электронную плотность ионосферы, что через нее сможет пройти низкочастотное радиоизлучение.

Подобный анализ динамики разрядов, наблюдаемых на «Вояджерах», и изменение частоты этих разрядов со временем в зависимости от положения аппарата относительно планеты подтверждают предположение Бернса и позволяют вернуться к простой модели атмосферных разрядов без использования доволно экзотических гипотез о накоплении статического электричества в кольцах. Данные «Вояджеров» указывают, что источник разрядов находится все-таки в приэкваториальной атмосфере планеты и имеет протяженность порядка 60 тыс. км (т. е. простирается над более чем шестой частью поверхности). Не исключено, что разряды могут возбуждаться и над всей ночной стороной Сатурна. Грозовой период, по-видимому, продолжается не меньше 10 месяцев, так как именно этот срок отделяет данные, полученные «Вояджером-1», от данных «Вояджером-2».

Nature, 1983, v. 303, № 5912, p. 50
(Великобритания).

Астрономия

Звезда «взвешивает» Галактику

Шотландский астроном М. Хоукинс (M. Hawkins) почти на краю нашей Галактики обнаружил переменную звезду. По скорости ее движения Хоукинс оценил массу нашей Галактики, которая в 6 раз превысила принятое сейчас значение.

Далекая переменная звезда обнаружена в ходе планомерных поисков слабых (т. е. далеких) переменных звезд, отдельные типы которых являются прекрасными индикаторами расстояний, например цефеиды — «маяки Вселенной». Переменная Хоукинса как раз и представляет собой короткопериодическую цефеиду типа RR Лиры. Она очень слаба: ее блеск в голубых лучах составляет около 20^m. Зная истинную светимость звезд этого типа и сравнив ее с блеском обнаруженной звезды, Хоукинс установил, что она находится на расстоянии 64 кпк от Солнца (южное небо, созвездие Журавль). Ее галактические координаты $l=356^\circ$, $b=-46^\circ$. Относительно Солнца звезда расположена «по ту сторону» галактического центра и отстоит от него на 59 кпк, а от плоскости Галактики она удалена к югу на 45 кпк. Астрономам, по-видимому, еще не приходилось наблюдать столь далеких от центра Галактики звезд.

Заметить перемещение столь далекой звезды по небу за разумное время нельзя, но можно определить скорость ее движения вдоль луча зрения, измеряя доплеровское смещение линий в ее спектре. С помощью англо-австралийского телескопа с диаметром зеркала около 4 м и самой совершенной светоприемной техники Хоукинс зарегистрировал спектр звезды и определил скорость ее движения: -465 ± 27 км/с. (Знак «минус» говорит о том, что звезда приближается к Солнцу.) Зная расстояние и скорость звезды и считая, что она движется по замкнутой орбите вокруг Галактики, Хоукинс оценил массу

самой Галактики: $M_T > 1,4 \cdot 10^{12} M_{\odot}$.

Еще недавно считалось, что радиус Галактики равен примерно 15 кпк, а масса — $2 \cdot 10^{11} M_{\odot}$, поскольку на больших расстояниях светящегося вещества — звезд, газа — почти нет. Но исследуя движение далеких шаровых скоплений, карликовых галактик-спутников и небольших газовых облаков, астрономы заподозрили существование на периферии Галактики большого количества невидимого вещества, «скрытой массы», о присутствии которой можно судить только по гравитационному возмущению, оказываемому ей на движение далеких звезд и звездных скоплений. Согласно оценкам последних лет, величина полной массы Галактики примерно равна $10^{12} M_{\odot}$. Далекая звезда, открытая Хокингом, существенно уточнила эти оценки.

Какое вещество находится на периферии Галактики и столь увеличивает ее массу, пока неясно. Но теперь почти бесспорно доказано существование самой «скрытой массы».

Nature, 1983, v. 303, № 5916, p. 406—408 (Великобритания).

Астрономия

Кто открыл новую комету!

26 апреля 1983 г. научные сотрудники Лейстерского университета Дж. Дейвис и С. Грин (J. Davies, S. Green, Великобритания), обрабатывая материалы, полученные с американского спутника «ИРАС» (Infrared Astronomical Satellite), обнаружили в них свидетельства существования какого-то неизвестного быстродвижущегося небесного тела.

Оптическим обсерваториям мира сразу была направлена телеграмма с предложением вести наблюдения в соответствующем участке неба. На следующий день шведским астрономом удалось сфотографировать это тело. Вскоре пришло сообщение, что два астронома-любителя —

Г. Араки (G. Araki) в Японии и Дж. Олкок (G. Alcock) в Англии — одновременно наблюдали этот объект.

Сотрудники Лаборатории реактивного движения в Калифорнии (США), к которым прежде всего поступают телеметрические данные с американских спутников, также поспешили заявить свои права и сообщили газетам, что открытие принадлежит им, что вызвало сдержанный, но решительный протест английских ученых.

Вопрос не только о приоритете, хотя и он играет не последнюю роль. Дело еще в том, под каким названием войдет в научные справочники новое небесное тело: начиная с кометы Галлея, вновь открытые небесные тела принято называть именами первооткрывателей. Впредь до решения Международного астрономического союза неизвестный объект именуется кометой ИРАС-Араки-Олкока.

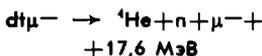
Обнаружение новой кометы — явление незаурядное. За последние два с лишним столетия ни одна комета не подошла столь близко к Земле; лишь комета, названная именем российского академика Андрея Ивановича Лекселя, побывала в 1770 г. на таком же расстоянии от Земли, равном всего 5 млн км.

New Scientist, 1983, v. 98, № 1357, p. 357 (Великобритания).

Физика

Измерено число циклов мюонного катализа

Как известно, при столкновении мезоатома $dt\mu^-$ с дейтерием образуется мезомолекула $dt\mu^-$, в которой тяжелые изотопы водорода расположены настолько близко, что реакция ядерного синтеза



проходит за время около 10^{-12} с, много меньше времени жизни самого мюона ($2,2 \cdot 10^{-6}$ с).

Теоретические и экспериментальные исследования, выполненные в ОИЯИ (Дубна), показали, что благодаря особо-

му резонансному механизму в плотной dt -смеси мезомолекулы $dt\mu^-$ образуются быстрее, чем за 10^{-8} с¹. Общее число реакций синтеза, катализируемых одним мюоном, ограничено, с одной стороны, вероятностью его распада за время образования мезомолекулы, а с другой — вероятностью прилипания мюона к ${}^4\text{He}$ в момент образования гелия в реакции синтеза. Согласно теоретической оценке, за время жизни одного мюона должно произойти около 100 циклов катализа при плотности дейтерий-тритиевой смеси, равной плотности жидкого водорода.

В начале 1983 г. объединенная группа американских физиков из Айдахо и Лос-Аламоса провела первые прямые измерения числа синтезов в плотной dt -смеси ($\rho=0,45$ и $0,6$ от плотности жидкого водорода) в диапазоне температур от -170°C до $+250^\circ\text{C}$. Концентрация трития в смеси составляла $c_t=10, 20, 50$ и 80% . Наибольшее число синтезов на один мюон (χ_t), зарегистрированное при концентрации $c_t=50\%$, равно 74 ± 8 (для $\rho=0,6$). Таким образом, при плотности dt -смеси, равной плотности жидкого водорода ($\rho=1$), $\chi_t=90 \pm 9$, в согласии с теоретическими оценками. Время образования мезомолекулы при этой плотности равно $2 \cdot 10^{-9}$ с. Вероятность прилипания мюона к гелию, $\omega_{\text{эксп}}=(0,76 \pm 0,05) \cdot 10^{-2}$, оказалась меньше теоретического значения, $\omega_{\text{теор}}=0,86 \cdot 10^{-2}$. Авторы не исключают возможности загрязнения газа примесями, повышающими значение ω , и понижающими наблюдаемую в эксперименте величину χ_t . Обнаружено, что с ростом температуры время образования мезомолекулы $dt\mu^-$ уменьшается, а χ_t — увеличивается. Поэтому авторы намерены продолжить опыты при более высокой температуре.

100 реакций dt -синтеза, катализируемых одним мюо-

¹ Подробнее об этом см.: Пономарев Л. И. Мюонный катализ ядерных реакций синтеза.— Природа, 1979, № 9, с. 8.

ном, — это минимум, необходимый для начала обсуждения перспектив практического использования «холодного» синтеза². Поэтому определение условий, при которых число катализаторов x_c максимально, представляет значительный интерес. В настоящее время, кроме Дубны и Лос-Аламоса, эксперименты по определению характеристик мюонного катализа реакции d_t -синтеза ведутся также в Ленинградском институте ядерной физики им. Б. П. Константинова АН СССР и на ускорителе SIN (Цюрих, Швейцария) объединенной группой исследователей из Австрии, США, ФРГ и Швейцарии.

Proceedings of the Third International Conference of Emerging Nuclear Energy Systems; Helsinki, 6—9 June, 1983 (Финляндия)

Физика

Обнаружение микротрещин под поверхностью кристаллов

Для исследования идеальности структуры микрокристаллов, использующихся в современной электронике для создания интегральных схем, А. Там и Х. Кауфел (А. Tam, H. Coufal; Исследовательская лаборатория фирмы Ай-Би-Эм, Калифорния, США) предложили новую технику фотоакустического возбуждения и детектирования сверхкоротких, длительностью 10 нс, акустических импульсов в твердых телах. В качестве источника возбуждения использовался лазерный луч диаметром 50 мкм, дающий слабые импульсы с энергией до 1 мДж.

В прозрачном образце энергия лазерного импульса преобразовывалась в продольные и поперечные акустические волны. Внутри образца поперечная акустическая волна также превращалась в продольную. В отличие от предыдущих работ, фотоакустический сигнал посту-

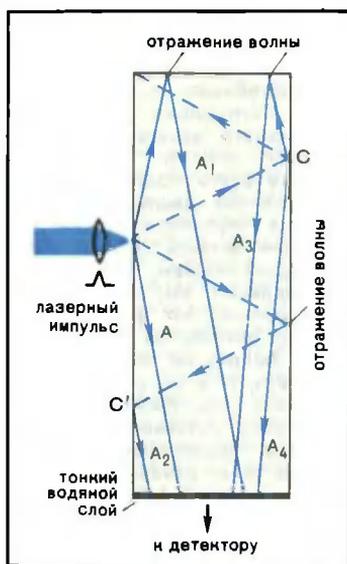


Схема эксперимента по возбуждению, преобразованию и детектированию сверхкоротких акустических импульсов в твердых телах. Сплошные линии — продольные волны, пунктирные — поперечные волны, С и С' — точки превращения поперечной волны в продольную.

пал на детектор с боковой стороны образца через тонкий водяной слой. Сигнал состоял из серии акустических импульсов. Первый импульс А (см. рис.) возникал, когда акустический импульс, непосредственно генерированный лазерным импульсом, достигал детектора. Импульс A_3 создавался в результате преобразования поперечной акустической волны в продольную и достигал детектора с определенной задержкой по сравнению с импульсом А из-за большего расстояния, проходимого в образце. Образование остальных импульсов (A_1 и A_2) показано на рисунке.

Большое количество вторичных поперечных и продольных сигналов, возникающих в образце и регистрируемых затем детектором, позволило существенно увеличить точность и информативность метода. Дело в том, что для каждой кристаллической структуры характерна строго определенная по времени прихода на детектор последовательность акустических им-

пульсов. Самые незначительные нарушения в чередовании этих импульсов, по сравнению с эталонным образцом, свидетельствуют об изменении в структуре исследуемого кристалла. По разнице времен прибытия поперечного и продольного акустических импульсов на детектор можно определить также модули упругости вещества и их изменения.

Описанная методика представляет собой новый способ исследования подповерхностных дефектов и трещин в образце. С ее помощью можно обнаруживать микротрещины в определенной точке под поверхностью образца на гораздо больших глубинах по сравнению с используемым в настоящее время методом тепловых волн, поскольку сверхзвуковые волны очень слабо затухают в веществе.

То, что детектор расположен на боковой поверхности образца, позволяет исследовать всю площадь кристалла путем сканирования лучом без одновременного перемещения детектора. Ранее использовавшиеся методы давали усредненную информацию о микрокристаллах.

Applied Physics Letters, 1983, v. 32, № 1, p. 33—35 (США).

Физика

Полупроводниковые сверхрешетки

В последнее время достигнуты значительные успехи в создании искусственных полупроводниковых структур, пространственный период которых в 10—100 раз превышает периоды собственных кристаллических решеток исходных материалов. Речь идет о сверхрешетках — эпитаксиально выращенных структурах, образованных чередующимися тонкими слоями двух полупроводниковых материалов, существенно различа-

² Петров Ю. В. Гибридные ядерные реакторы и мюонный катализ. — Природа, 1982, № 4, с. 62.

¹ Подробнее об этом см.: Полупроводниковые сверхрешетки. — Природа, 1983, № 6, с. 105.

ющихся по величине постоянной кристаллической решетки. Если раньше достаточно качественные сверхрешетки удавалось получать из материалов с константами решеток, различающимися всего на несколько десятых процента, то сейчас допустимое различие доведено до нескольких процентов. Недавно специалисты фирмы «Varian» и Иллинойского университета (США) продемонстрировали лазерное действие сверхрешетки из слоев чистого арсенида галлия и арсенида галлия, легированного индием (различие параметров решеток составило 1,4%). При уровнях накачки около 10^3 Вт/см² эта сверхрешетка, используемая в качестве активного элемента лазера, в течение нескольких часов генерировала когерентное лазерное излучение в непрерывном режиме.

Указание на ограниченный период генерации здесь существенно, так как сверхрешетка все же представляет собой механически метастабильную структуру (в ней «заморожены» значительные упругие механические напряжения), которая под воздействием достаточно мощного излучения разрушается. Как показали исследования, исходно практически бездефектная структура после функционирования в качестве лазера совершенно деградирует — на поверхности раздела возникает высокая плотность дислокаций. Однако необходимо отметить, что технологические пути повышения стабильности сверхрешеток еще только отработываются. Кроме того, уже развитая технология позволяет получать гетероструктуры, весьма перспективные для создания приборов, работа которых не связана с высокими уровнями мощности, — таких как фотодетекторы, полевые транзисторы.

Physics Today, 1983, v. 36, № 3, p. 19-21 (США).

Физическая химия

Коллоидные системы генерируют ток

В процессах, связанных с фазовыми переходами в различ-

ных физико-химических системах, возникает электромагнитное излучение; например, при замерзании (кристаллизации) воды появляется импульсное радиоизлучение¹.

Группа исследователей под руководством Н. М. Жаворонкова (Институт новых химических проблем АН СССР) обнаружила, что в процессе структурообразования (коагуляции, конденсации, кристаллизации) ряда коллоидных систем возникает низкочастотный переменный ток. В ячейке с медными электродами исследовались коллоидные системы: цемент—вода, глина—вода, кварц—вода, известь—вода и др. Как показал спектральный анализ, эти системы генерируют в электродах ячейки переменный ток с частотой колебаний, характерной для каждой системы. Наблюдаемое явление возникает в результате изменения термодинамических характеристик систем, динамики движения коллоидных частиц в них и т. д. В одних системах (цемент—вода, известь—вода) это происходит спонтанно при гидратации частиц, в других (кварц—вода, глина—вода) требуются индукционные эффекты, например нагрев.

По мнению авторов, способность коллоидных частиц генерировать низкочастотный переменный ток связана с динамикой их движения, формирования структуры или динамикой диспергирования. Коллоидные частицы при взаимодействии с водой и диспергировании получают момент реактивного поступательного, вращательного и колебательного движения. Изменяется и величина их дипольного момента, что, наряду с колебаниями потенциала на границе раздела фаз, приводит к возникновению переменного электромагнитного поля в системе. Кроме того, колебания коллоидных частиц способствуют срыву или смещению гидратных оболочек, образующихся вокруг частиц при их растворении, а это также приводит к дополнительной по-

ляризации частиц. Участвуя во вращательном движении, коллоидные частицы, обладающие дипольным моментом, возбуждают электромагнитное поле, которое, в свою очередь, генерирует в электродах переменный ток.

Общим, что объединяет процессы молекулярной кристаллизации воды и коллоидно-химическую кристаллизацию и диспергирование частиц, является возникновение переменного электромагнитного поля в результате колебаний электрического потенциала на границе раздела фаз. В первой системе это поле служит источником широкополосного импульсного радиоизлучения, а во второй — низкочастотного переменного тока.

Доклады АН СССР, 1983, т. 270, № 1, с. 124—128.

Химия

Роль эффекта спилловера водорода в катализе

Н. Е. Лобашина, Н. Н. Савин и И. А. Мясников (Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л. Я. Карпова) исследовали механизм спилловера водорода. С помощью оригинальной методики они получили данные об этом явлении и о скорости миграции частиц по поверхности носителя.

Известно, что в химических реакциях с участием водорода, протекающих на металлсодержащих катализаторах, важную роль играет явление спилловера водорода — перетекание, или мигрирование, водорода с активных центров металла на инертный носитель. Активированный на металле водород сохраняет высокую активность и может принимать участие в реакции; в результате резко увеличивается его концентрация на поверхности носителя.

В 1980 г. В. В. Лунин, Х. Н. Асхабова и Б. В. Рома-

¹ Подробнее об этом см.: Природа, 1983, № 7, с. 106.

новский (химический факультет Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова), основываясь на этом явлении, предложили новый метод осуществления каталитических реакций, в котором все превращения углеводородов происходят на инертном носителе без непосредственного контакта с катализатором, требуется лишь поток активированного водорода¹.

Был сконструирован специальный реактор, в котором имелось два слоя: нижний — инертный носитель, верхний — металлсодержащий катализатор. На слой инертного носителя (кварца, силикагеля, цеолита) поступал углеводород; водород, проходя слой металлсодержащего катализатора, активировался и в силу спилловера мигрировал на инертный носитель, где и вступал в реакцию с углеводородом. В реакторе исследовались каталитические превращения этилена в этан, бензола в циклогексан, n-пентана и изооктана в метан. Отсутствие контакта углеводорода с активным компонентом каталитической системы позволило вести процесс гидрирования непрерывно и исключить стадию периодического восстановления катализатора. К сожалению, механизм перетекания активированного на металле водорода к инертному носителю во многом неясен.

Как показали в своей работе Лобашина, Савин и Мясников, в каталитических системах палладия — двуоксид кремния и палладий — оксид алюминия в спилловере водорода участвует атомарный водород. Скорость миграции водородных атомов составляет 10^7 частиц/см²·с. Перенос активных частиц с металла на носитель происходит за счет энергии, выделяющейся при адсорбции молекул водорода на металл.

Доклады АН СССР, 1983, т. 268, № 6, с. 1434—1437.

Метилирование подавляет активность генов

Ряд процессов, происходящих на клеточном уровне, и в том числе процессы дифференцировки клеток, связан с изменением активности определенных генов. Механизмы, регулирующие эту активность, до сих пор во многом неясны.

В 1980 г. Дж. Макгед и Г. Джиндер (J. McGhed, G. Ginder; Национальный институт здоровья, Бетесда, США) показали, что активация генов может быть вызвана химическими изменениями цитозина — одного из четырех оснований, составляющих «алфавит» ДНК¹. Было замечено, что цитозин часто превращается в 5-метилцитозин. Метилированные молекулы цитозина обычно не распределены равномерно по всей молекуле ДНК, а сосредоточены в определенных ее участках. Гены этих участков неактивны или обладают очень слабой активностью. По-видимому, метилирование цитозина и активность генов как-то связаны друг с другом. Подтверждение было получено при исследовании гена глобина — белковой части молекулы гемоглобина, входящей в состав эритроцитов. Оказалось, что гены глобина в активно функционирующих красных кровяных клетках метилированы очень слабо по сравнению с другими, неактивными генами.

Р. Штейн с сотрудниками (R. Stein; Иерусалимский университет, Израиль) вывелили из генома клеток хомяка гены фермента аденинфосфорибозилтрансферазы и метилировали их в пробирках. Затем метилированные и неметилированные гены фермента встроили в культивируемые вне организма клетки мышей и сравнили их активность. Хотя отрезки чужеродной ДНК встроились в ДНК клеток мышей примерно одинаково, генетическую активность проявляли лишь неметилированные образцы.

В другой серии опытов изучалась работа двух тесно связанных генов в ДНК клеток цыпленка. Только один из них был активен и, как оказалось, значительно менее метилирован, чем молчащий ген. Затем в среду, где находились клетки, добавили 5-азациитидин (аналог цитозина, соединенного с дезоксирибозой), который способен встраиваться в состав ДНК и отщеплять метильные группы у некоторых ее участков. В результате молчащий ген активировался, что обнаружилось по появлению в клетке белка, кодируемого этим геном.

Проведенные исследования вскрывают один из механизмов регуляции активности генов, который, возможно, играет важную роль в процессах контроля дифференцировки клеток. Proceedings of the National Academy of Science of USA, 1982, v. 79, p. 3418 (США).

Биохимия

Химические корни привычки к алкоголю

Чтобы понять, почему у некоторых людей возникает пристрастие к алкоголю, группа сотрудников Научно-исследовательского института по биологическим испытаниям химических соединений АН СССР изучала метаболизм внутриклеточного этанола (этилового спирта) у млекопитающих. Дело в том, что синтез и распад этанола в клетке связан с образованием ацетальдегида — участника важнейших ферментативных реакций окислительного фосфорилирования в митохондриях. Однако проницаемость клеточной мембраны для ацетальдегида очень низка, поэтому считается, что ацетальдегид попадает в митохондрии в виде этанола и уже там превращается в собственно ацетальдегид. Следовательно, существует челочно-транспортная система, регулирующая концентрацию ацетальдегида в организме, а внутриклеточный этанол выполняет в ней функцию подвижного депо.

¹ Луни В. В., Асхабова Х. Н., Романовский Б. В. — Доклады АН СССР, 1980, т. 250, № 4, с. 896.

¹ Nature, 1981, v. 292, p. 311.

При больших дозах алкоголя, попадающих в организм, увеличивается концентрация ацетальдегида в митохондриях и ускоряются окислительные и энергетические процессы. При неоднократном употреблении алкоголя высокие скорости реакций становятся нормой для организма, поэтому требуется постоянный приток ацетальдегида, а следовательно, и этанола. Со временем такая форма реакций становится преобладающей и устойчивой, она позволяет клетке без существенных нарушений адаптироваться к высоким концентрациям ацетальдегида и создает условия для нормальных обменных процессов.

Если прекратить регулярное поступление алкоголя, установившийся режим реакций в митохондриях резко нарушается и возникает так называемый синдром отмены (комплекс расстройств в разных органах и системах целого организма), который можно быстро, но временно, снять введением новых доз алкоголя.

Предложенная исследователями концепция о роли внутриклеточного этанола в метаболизме клетки объясняет физиологическое состояние организма при остром воздействии алкоголя, а также привыкание к нему.

Известия АН СССР, серия биологическая, 1983, № 2, с. 260.

Биохимия

Аскорбиновая кислота — антиканцероген

Сотрудники Всесоюзного онкологического научного центра АМН СССР обнаружили новый класс эндогенных канцерогенов среди фенольных кислот. — производных аминокислоты тирозина; из них наиболее активна п-оксифенилмолочная кислота. Ее образование в организме коррелирует с развитием лейкоза, что, по-видимому, объясняется тем, что п-оксифенилмолочная кислота резко усиливает свободно-радикальные реакции, приводящие к образованию перекисных соединений.

Исследование 146 взрослых и детей с различными видами гемобластозов показало, что при этом заболевании крови происходит частная или полная блокада фермента п-оксифенилпируватгидроксилазы, для нормального функционирования которого необходим комплекс из аскорбиновой кислоты и восстановленного железа. А, как известно, при аномально повышенном выделении из организма тирозина и его производных аскорбиновая кислота снимает эти нарушения, причем требуемые для этого дозы ее значительно выше доз, необходимых для предупреждения цинги.

Контрольные исследования здоровых людей показали, что зимой и весной часто повышается выделение п-оксифенилмолочной кислоты, связанное, по-видимому, с недостаточным содержанием в пище аскорбиновой кислоты. Для проверки этого предположения у больных лимфосаркомой с помощью аскорбиновой кислоты попытались восстановить нарушенный обмен тирозина. Взрослые получали в день по 8 г аскорбиновой кислоты в течение 8—10 суток. Постепенно, у всех больных либо снижалось, либо полностью прекращалось выделение п-оксифенилмолочной кислоты.

Дети с острым лимфобластным лейкозом получали в течение 10—12 дней по 100 мг аскорбиновой кислоты на 1 кг веса в сутки. В результате увеличенное в 75 раз по сравнению с нормой выделение п-оксифенилмолочной кислоты снижалось до нормы за 10—12 дней. Правда, при этом увеличивалось выделение 3-оксиантраниловой кислоты, образующейся из триптофана. Хотя это соединение менее канцерогенно, все же для уменьшения его образования необходимо одновременно с аскорбиновой кислотой вводить в организм никотинамид.

Таким образом, аскорбиновая кислота подавляет развитие опухолей, особенно гемобластозов. Однако поскольку в организме эта кислота не синтезируется и ее резерв у онкологических больных снижен, по-

видимому, целесообразно применять ее при лечении лейкозов.

Проблемы гематологии, 1982, т. 27, № 7, с. 3—6.

Микробиология

Микроорганизмы — очистители воды от нефти

Очистка воды от нефти и нефтепродуктов сейчас ведется малоэффективными техническими средствами. Гораздо рациональнее биологические методы с использованием микроорганизмов. Однако их природные штаммы усваивают лишь отдельные углеводороды, а не весь их набор, присутствующий в нефти. Только один род бактерий — псевдомонады (*Pseudomonas*) — способен усваивать сразу многие органические соединения: нафталин, камфору, октан, толуол, салицилат и т. д. Этим свойством псевдомонады обязаны плазмидам биодegradации, которые, как оказалось, способны переходить от одной бактерии к другой во время их слияния (конъюгации).

А. Л. Порц, А. М. Боронин и Г. К. Скрябин (Институт биохимии и физиологии микроорганизмов АН СССР) попытались воспользоваться этим свойством и сконструировать новый штамм бактерии *Pseudomonas aeruginosa*, который питался бы алифатическими, ароматическими и циклическими углеводородами, содержащимися в нефти. Для опытов был взят мутантный штамм В, 316 с плазмидной ДНК рР, 250, отвечающей за способность этой бактерии расти на октане. Однако этот штамм оказался не способным передавать свою плазмиду и его использовали не в качестве донора плазмиды рР, 250, а как реципиент плазмид биодegradации камфоры, нафталина и салициловой кислоты.

В серии последующих конъюгаций удалось получить новый штамм *P. aeruginosa* В, 315, который рос на октане, декане, камфоре, нафталине и салициловой кислоте. Этот штамм усваивал не только не-

сколькo углеводов, но и значительно быстрее, чем исходный штамм В, 316, рос на мазуте, а стало быть, усваивал и ароматические и циклические углеводороды.

По мнению авторов, комбинировав плазмиды биодegradации в клетках псевдомонад, можно получить культуры по переработке нефти с еще большей активностью и решить, таким образом, проблему очистки воды от нефти и нефтепродуктов.

Прикладная биохимия и микробиология, 1983, т. XIX, вып. 3, с. 347.

Микробиология

Новый корм для животных

Микробная биомасса используется в отечественном животноводстве как богатая белком добавка к биокормам. Растительные отходы сельского хозяйства и промышленности могли бы служить резервом кормов, но, к сожалению, они содержат лигноцеллюлозу, которая почти не переваривается в организме животных. Очевидно, эту трудность можно преодолеть, применив грибные культуры, которые способны разлагать целлюлозу и лигнин.

Сотрудники Института биохимии и физиологии микроорганизмов АН СССР (г. Пушкино) исследовали способность различных грибных культур использовать в своей жизнедеятельности лигноцеллюлозные комплексы. Экспериментально были изучены 65 культур, 43 из которых получены из Всесоюзной коллекции микроорганизмов АН СССР, а 22 выделены исследователями из пораженной древесины, из почвы и т. п.

Культуры высевались на увлажненные минеральной питательной средой березовые опилки или пшеничную солому. Оказалось, что разлагали лигнин (не более чем на 23%) всего 8 коллекционных культур; некоторые разлагали только целлюлозу, а 4 культуры гриба *Sporotrichum pulverulentum* — и

целлюлозу, и лигнин. Из числа культур, выделенных авторами работы, 6 активно разлагали целлюлозу, 3 — лигнин.

Интересно, что для грибов более доступными оказались опилки: из них на 43—48% интенсивнее, чем из соломы, усваивалась целлюлоза. Такое предпочтение опилок авторы связывают с природной способностью грибов разлагать древесную целлюлозу — ведь наибольшую активность проявляли именно те культуры, которые были выделены из пораженной древесины.

Разница в усвоении лигнина из опилок или соломы была несущественной, но белка в опилках появлялось в 3—4 раза больше (по сравнению с исходным субстратом), тогда как прирост белка в соломе был незначительным.

Авторы считают, что переработку целлюлозы и лигнина грибами, а следовательно, обогащение субстратов белком можно значительно повысить, если оптимизировать условия выращивания. В своих же экспериментах они намеренно создавали максимально жесткие условия, чтобы отобрать наиболее производительные культуры.

Микробиология, 1983, т. 52, вып. 1, с. 78.

Физиология

Вес мозга и экстраполяционные способности

Н. В. Попова и И. И. Полетаева (Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова) изучали влияние генетически обусловленного веса головного мозга на способность белых мышей к экстраполяции. Исследователи проводили отбор мышей на протяжении 10 поколений на большой и малый вес мозга. В результате селекции различия в весе мозга между линиями достигли примерно 15% от среднего его веса. В опыте животные должны были экстраполировать направление движения кормушки с пищей. Для повышения надежности опыта ис-

пользовались пять критериев способности к решению задачи: успешности решения при первом предъявлении; то же — при повторных предъявлениях; частота появления четырех правильных реакций подряд; частота появления шести правильных реакций подряд; успешность решения при смене стереотипа. С каждым животным проводилось по четыре опыта.

Известно, что животные с большим весом мозга, как правило, способны к более сложным формам поведения, поэтому ожидалось, что они окажутся более успешными и в решении данной задачи. Однако никаких различий между животными двух селективированных линий ни по одному из показателей не обнаружено. Таким образом, вес мозга сам по себе не влияет на способность мышей решать экстраполяционную задачу.

Журнал высшей нервной деятельности, 1983, т. XXXIII, вып. 2, с. 370—372.

Физиология

Левое ухо слышит лучше

Физиолог В. Г. Каменская (Ленинградский университет им. А. А. Жданова) определяла пороги чувствительности для правого и левого уха (порогом чувствительности называется минимальная величина раздражителя, способная вызвать ощущение; в данном случае это минимальная величина звукового давления, вызывающая ощущение звука).

В эксперименте участвовали 10 мужчин 22—25 лет с нормальным слухом. У каждого порог чувствительности измерялся многократно для получения индивидуального распределения, при этом использовались чистые тоны различных частот в оптимальном для человека диапазоне: 255—4000 Гц.

Как в целом по группе, так и у каждого испытуемого левое ухо обладало более высокой чувствительностью, чем правое. Этот результат подтверждает данные, которые ранее другими авторами были полу-

чены косвенными методами, в частности при регистрации электрических ответов слуховой коры мозга на звук. Амплитуда соответствующих электрических колебаний оказалась больше в правом полушарии, что указывает на большую чувствительность левого уха, поскольку нервные пути от уха в кору мозга перекрещиваются.

Физиология человека, 1983, т. 9, № 3, с. 179—186; Материалы Всесоюзной конференции «Взаимоотношения полушарий мозга». Тбилиси, 1982, с. 78.

Медицина

Вулканический пепел и здоровье

При извержении вулкана Сент-Хеленс (штат Вашингтон, США) в мае 1980 г. большое число людей подверглось воздействию вулканического пепла. В связи с этим специалисты Центра здравоохранения Техасского университета, Национального института профессиональной безопасности и здравоохранения и ряда других медицинских учреждений США провели исследования физико-химических свойств вулканического пепла и его воздействия на здоровье человека.

В составе частиц пепла обнаружено от 1,5 до 7,2% неорганических соединений кремния, которые, как известно, могут являться причиной легочных заболеваний. В экспериментах, поставленных на животных и культуре клеток человека, была изучена гемолитическая и фибриногенная активность¹ пепла, а также его действие на легочных альвеолярных макрофагов. Оказалось, что вулканическая пыль не оказывает токсического действия на альвеолярных макрофагов из бронхо-ле-

гочных смыслов как курящих, так и некурящих людей, зато обладает выраженными гемолитическими свойствами, подобными свойствам хризотила — хорошо изученного фибриногенного минерала. Обнаружена также способность вулканической пыли вызывать усиленное образование соединительнотканых (коллагеновых) волокон в легких подопытных животных после ее введения в дыхательные пути.

Специалисты делают вывод, что у людей, вдыхавших вулканическую пыль, значительно возрастает риск развития пневмокопоза — тяжелого хронического заболевания легких. Environmental Research, 1983, v. 30, № 2, p. 349—371; Experimental and Molecular Pathology, 1982, v. 37, № 3, p. 406—412 (США).

Генетика

Структура химических веществ и их генетическая опасность

Для прогнозирования генетической опасности химических мутагенов особенно важно установить связь между составом, строением химических веществ и силой их воздействия на наследственный аппарат (частотой и типом вызываемых ими мутаций). Среди генетически активных химических веществ одни обладают специфическим воздействием, другие вызывают одновременно мутации различных типов (генные, хромосомные, геномные). Как еще в 1948 г. показал И. А. Рапопорт, алкилирующие соединения¹ могут вызывать изменения структуры отдельных генов (генные мутации) или структурные перестройки (абберации) хромосом в целом (хромосомные мутации). Поскольку в определенных фазах

существования клетки ее хромосомы имеют в качестве структурных элементов по две хроматиды, структурные перестройки могут затрагивать либо обе хроматиды (хромосомные абберации), либо одну из них (хроматидные абберации). Для обнаружения этих типов мутаций разрабатываются разные системы тестов.

Т. Г. Селезнева, И. Г. Шаталина и А. Н. Чеботарев (Институт медицинской генетики АН СССР) предложили при тестировании химических веществ на мутагенность использовать метод регистрации сестринских хроматидных обменов (СХО), т. е. обменов участками между сестринскими хроматидами одной и той же хромосомы; подобные обмены происходят на стадии репликации ДНК, но, в отличие от аббераций, не изменяют общей морфологии хромосом. Выявляются СХО по дифференциальному окрашиванию хроматид. По сравнению с обнаружением хромосомных аббераций метод СХО гораздо быстрее и менее трудоемок.

Авторы использовали этот метод для изучения связи между частотой аббераций, СХО и строением различных химических соединений. На способность индуцировать СХО в культуре клеток китайского хомячка были проверены 12 алкилирующих соединений, среди них — этилметансульфонат и производные бензохинона, триазина, хлорэтиламина и амидофосфорной кислоты. Для всех этих соединений обнаружен рост эффекта СХО при возрастании концентрации использованных водных растворов. По способности индуцировать СХО производные бензохинона и триазина значительно превосходят производные амидофосфорной кислоты и хлорэтиламина. Наименьшее число СХО при одинаковой концентрации растворов наблюдалось в случае этилметансульфоната.

На примерах производных амидофосфорной кислоты и бензохинона выявлено, что способность вызывать СХО обусловлена не столько числом алкилирующих этилениминовых групп, сколько их положением в структуре молекул. Аналогичные закономерности характерны и для хромосомных аббераций. Среди производных амидофос-

¹ Гемолитическая активность — способность вызывать разрушение эритроцитов; фибриногенная активность — способность вызывать разрастание соединительной ткани легких, ведущее к нарушению их функций.

¹ Алкилирующие соединения инициируют введение радикалов в молекулы органических веществ, в том числе в ДНК, посредством образования связи с одним из атомов углеродной цепочки.

форной кислоты вещества, содержащие один атом фосфора в молекуле («одноцентровые»), оказались более активными в индукции СХО, чем содержащие несколько атомов фосфора («многоцентровые»). В то же время «многоцентровые» соединения более активны по сравнению с «одноцентровыми» в процессах перекрестной сшивки цепей ДНК, вызывающих хромосомные aberrации. Различия в закономерностях индуцирования химическими мутагенами хромосомных, хроматидных aberrаций и СХО обуславливаются спецификой процессов их возникновения.

Генетика, 1982, т. 18, № 2, с. 269—274.

Биология

Температура определяет пол

Биологи М. Фергюсон (M. Ferguson; Королевский университет в Белфасте, Северная Ирландия) и Т. Джоанен (T. Joanen; Комиссия по охране природы штата Луизиана, США) изучали размножение миссисипских аллигаторов в Рокфеллеровском заповеднике (штат Луизиана). 500 яиц аллигаторов, снесенных не более чем за 12 часов до их сбора, были помещены в инкубатор, где дальнейшее развитие происходило при различных температурах.

Обычный срок инкубации яиц аллигаторов — около 65 суток. Исследователи отбирали яйца на 60-е сутки и по анатомическим признакам и гистологическим препаратам определяли пол зародышей. Установлено, что в случае инкубации яиц при температуре 26—30° С все зародыши оказываются самками, а при температуре 34—36° — самцами; средние же температуры (32°) давали соотношение самок и самцов, равное 85:13 (или 6,5:1). Подобное явление ранее было описано для некоторых видов ящериц; у черепах наблюдается обратная картина, т. е. при низких температурах зародыши оказываются в

основном самцами, а при более высоких — самками.

Исследования показали, что критическим периодом в дифференциации пола у аллигаторов являются вторая и третья недели эмбрионального развития. Это несколько меньше, чем у других видов пресмыкающихся, и может быть обусловлено тем фактом, что самка аллигатора, в отличие от других рептилий, откладывает яйца в уже частично развитом состоянии; таким образом, к моменту определения пола зародыши всех видов находятся примерно на одинаковом этапе развития.

Чтобы исключить влияние возможных лабораторных эффектов, велись наблюдения за размножением и развитием данного вида в природе. Исследователи выбрали по две кладки аллигаторов, расположенные на разных участках: на краю района размножения, вдали от воды, в сухих и теплых условиях; во влажном болоте, где наиболее прохладно; на промежуточных участках, в пересохшем болоте. В гнездах с кладками регулярно измерялась температура. По окончании наблюдений был определен пол зародышей.

Результаты эксперимента практически полностью подтвердились этими наблюдениями. Так, в наиболее сухих и теплых условиях 99% зародышей были самцами; на участках с низкой температурой зародыши оказались самками; в кладках, расположенных на территории между вышеперечисленными участками, имелись зародыши обоих полов, но и в этом случае яйца, лежавшие в центре кладки, где средняя температура составляла около 34°С, содержали зародыши самцов, а яйца с краю кладки (температура 31°) — самок.

Предположение, будто аллигаторы специально размещают свои кладки таким образом, чтобы число самцов и самок было равным, опровергнуто дальнейшими наблюдениями. Собрав 8000 яиц, уже миновавших критический момент дифференциации пола, исследователи дали крокодилам вывестись и достигнуть полторагодовалого возраста, когда определение пола не представляет труда, и установили, что количественно самки почти в пять раз превы-

шают число самцов. Близкое к этому соотношение полов сохранялось и в течение четырех лет последующих наблюдений за группой аллигаторов.

Особенности температурной регуляции дифференциации пола авторы связывают с экологическими особенностями развития и обитания взрослой части популяции. Своеобразное соотношение полов может быть вызвано, на их взгляд, двумя причинами: недавно изменившимися условиями размножения или еще не установленными механизмами популяционной структуры данного вида.

Nature, 1982, v. 296, № 5860, p. 850 (Великобритания).

Зоология

Способность муравьев охлаждать гнезда

Известно, что рыжие лесные муравьи с ранней весны до конца лета поддерживают в муравейниках почти постоянный температурный режим: в центральной части надземного гнездового купола температура при незначительных суточных колебаниях держится на уровне 28—35°С. Нагревание муравейника обеспечивается благодаря выделению муравьями тепла при дыхании, а также за счет деятельности обильной микрофлоры муравейника и нагревания его солнечными лучами. Сохранению тепла способствуют теплоизоляционные свойства наружной оболочки гнездового купола. При перегреве муравейника его обитатели открывают дополнительные отверстия в верхней части купола, обеспечивая вентиляцию и охлаждение гнезда. Однако насколько эффективно способны муравьи охлаждать свое жилище, до сих пор не было известно. Эксперименты, проведенные энтомологом К. Хорстманном (Вюрцбургский университет, ФРГ), позволяют количественно оценить эти способности¹.

¹ Horstmann K. — Z. Naturforsch., 1983, Bd. 38, № 5—6, S. 508—510.

Этология

Хорстман зарывал в муравейники небольшие спиральные электронагреватели и с помощью термодатчиков измерял температуру в разных частях гнездового купола. Неподалеку от исследуемых муравейников были размещены искусственно созданные «муравьиные гнезда» (точно таких же размеров и форм кучи растительного материала, из которого состоят настоящие муравейники), тоже снабженные электронагревателями. Оказалось, что в искусственных гнездах очень легко создать температурный режим, имитирующий режим обычного муравейника. Для этого нагреватель должен иметь мощность всего 1—5 Вт (в зависимости от погоды, размеров «гнезда» и других условий). При большей мощности температура в гнезде быстро достигала 50° и выше — происходил перегрев. Когда же нагреватели включали в настоящих муравейниках, муравьи очень эффективно сопротивлялись перегреву гнезда: даже при мощности нагревателя 22 Вт температура в муравейнике не превышала 34,6° и только при больших мощностях наступал перегрев.

Эти эксперименты позволяют, во-первых, приблизительно оценить количество тепла, необходимое для поддержания нормального температурного режима в муравейнике (очевидно, эта величина определяется мощностью 1—5 Вт, обеспечивающей создание в искусственных гнездах микроклимата реального муравейника), а во-вторых — утверждать, что муравьи способны удалять из муравейника тепло, эквивалентное мощности 15—20 Вт. Можно ли объяснить столь эффективное охлаждение гнезда, гарантирующее от перегрева даже в самую жаркую и солнечную погоду, одной лишь вентиляцией муравейника через отверстия в оболочке купола, или же у муравьев существует какой-то неизвестный еще науке способ охлаждения гнезда? Этот вопрос заслуживает специального исследования.

В. Е. Кипятков

кандидат биологических наук

Ленинград

Может ли пчела поступать разумно?

Для описания поведения животных нет, казалось бы, необходимости прибегать к такому понятию, как «интеллект», ибо ни сколь угодно сложные и целесообразные действия (например, постройка ловчей сети пауком), ни отказ от врожденной программы поведения вследствие привыкания (например, когда бабочка, обычно при громком хлопке складывающая крылья, перестает это делать при частом и многократном повторении хлопков), ни даже способность в заданных пределах разнообразить свои действия и обучаться — все это еще не признаки индивидуального разума. Однако Дж. Гулд и К. Гулд (Принстонский университет, Нью-Джерси, США), изучающие вопрос, может ли пчела поступать разумно, накопили из литературы и собственных наблюдений над медоносной пчелой ряд таких примеров, которые трудно объяснить в свете представлений о генетической (эволюционной) запрограммированности пчелиного поведения¹.

Так, обычно пчелы избегают посещать люцерну, поскольку ее цветки снабжены «взведенными» пыльниками, которые ударяют входящего в цветок фуражира, чего пчелы, в отличие от шмелей, совершенно не переносят. Но под страхом голода все-таки можно заставить пчел собирать мед с люцерны; при этом одни индивиды проникают в цветок сбоку, прокусывая венчик, а другие выучиваются избирать уже «разрядившиеся» цветки.

Крайне интересна способность пчел ориентироваться на местности. В полетах за кормом эти насекомые ведут себя так, словно хранят в памяти карту окрестностей улья и способны мысленно прокладывать по ней

путь. По наблюдениям К. Фриша, пчела-разведчица, вернувшись в улей окольным путем, тем не менее передает в танце информацию о пути к источнику пищи по прямой². Более того, как сообщается в работе Б. Кертрайта и Т. Коллета, пчела может ориентироваться и по-другому: иногда по каким-то причинам она не «реконструирует» карту в прямоугольной системе координат, а как бы запоминает моментальный снимок местности. В этом случае она ищет приманку в точке пространства, из которой ориентиры (понятно, что их должно быть не менее трех) видны под углом, который она запомнила; если затем высоту ориентира увеличить, область поисков отодвигается от него, если уменьшить — приближается³.

В ряде своих экспериментов Дж. Гулд и К. Гулд помещали приманку в лодке, находящейся в центре озера. В этих случаях пчелы отказывались следовать танцам разведчицы, извещавшей их о месте нахождения взятка. Те же пчелы, однако, преодолевали боязнь воды, если приманку помещали хотя и на дальний берег озера, но на сушу, о чем пчелы заведомо знали.

Сколько бы ни были удивительны результаты рассматриваемых экспериментов, интерпретация их сложна из-за недостаточной четкости в определении того, что мы считаем «интеллектом» по отношению к животным.

Вопрос об интеллекте животных разрабатывается и в СССР⁴.

В. М. Карцев

Москва

² Фриш К. Из жизни пчел. М., 1980, с. 152.

³ Cartwright B. A., Collett T. S.— J. Comp. Phys., 1983, v. A151, № 4, p. 521.

⁴ См., напр.: Мазохин-Поршняков Г. А. Только ли инстинкт управляет поведением насекомых? — Природа, 1970, № 5, с. 55; Крушинский Л. В. Биологические основы рассудочной деятельности, М., Изд-во МГУ, 1977.

¹ Gould J. L., Gould C. G.— New Scientist, 1983, v. 98, № 1353, p. 84.

Ботаника

Фталаты — регуляторы дифференциации пола у растений

Применение веществ, увеличивающих число пестичных (женских) цветков у растений, обладающих раздельнополоыми цветками, способствует повышению урожайности и эффективности селекции. Большой интерес в связи с этим представляет поиск новых химических соединений, действующих на регуляцию пола у растений.

И. В. Егоров, И. Н. Львова, В. Н. Граменицкая и В. И. Стулова (Институт биоорганической химии АН СССР и Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова) изучали возможность применения фталевой кислоты и ее эфиров (дибутилфталата, диэтилфталата и дигексилфталата) в качестве агентов, регулирующих дифференциацию пола у огурца. Названные соединения ранее были обнаружены в составе тканей листьев пшеницы в период формирования репродуктивных органов.

Огурцы выращивали в летний период в закрытом грунте. Обработку производили путем опрыскивания целых растений водными растворами или эмульсиями с фталатами в разных концентрациях, а также путем нанесения эмульсии непосредственно на верхушечную почку. В некоторых вариантах опыта семена предварительно замачивали в растворах или эмульсиях с указанными препаратами. Первую обработку производили при появлении первого настоящего листа, а две последующих — с интервалом в 5—6 дней. Предварительное обследование обработанных растений проводили на 21-й день, заключительное — на 33-й.

Испытываемые соединения в разной степени стимулировали закладку (развитие) женских репродуктивных органов — пестичных цветков. Наибольший эффект оказывало опрыскивание 0,5%-ным раствором дикалиевой соли фталевой кислоты и эмульсией дибутил-

фталата в концентрациях 0,025—0,075%. На 21-й день число пестичных цветков увеличивалось в 1,8—2,2 раза, а на 33-й день — в 3,5 раза (по сравнению с числом пестичных цветков у контрольных растений такого же возраста). Число тычиночных (мужских) цветков увеличивалось при этом незначительно. Обработка фталатами стимулировала также образование и рост новых боковых побегов, на которых число пестичных цветков увеличивалось в 1,5—3,3 раза. Отмечалось формирование и большего числа ранних плодов.

В этом опыте впервые наблюдалась интересная особенность развития растений огурца после обработки фталатами: у 20% растений главный побег заканчивался не вегетативной почкой, как обычно, а пестичным цветком; в пазухах листьев тоже формировались преимущественно пестичные цветки.

Таким образом, фталаты являются новыми регуляторами дифференциации пола у огурца. В отличие от этрела и α -нафтиуксусной кислоты, применяемых для аналогичных целей, они не тормозят роста и развития растений, а, наоборот, способствуют увеличению числа боковых побегов и поверхности листьев.

Доклады АН СССР, 1983, т. 270, № 2, с. 501—505.

Экология

Температура воды меняет параметры токсичности ее загрязнителей

Объединенный комитет по разработке научных критериев качества окружающей среды при Национальном научно-исследовательском совете Канады посвятил очередной том своей публикации вопросу о том, как колебания температуры речной, морской и озерной воды влияют на экологию рыб и других обитателей водоемов. Известно, что для каждого из предшественников водной флоры и фауны имеется свой, закрепленный

генетически, температурный оптимум жизнедеятельности. Однако в последние десятилетия вопрос о роли температурного фактора приобрел новый аспект в связи с загрязнением воды и донных отложений токсичными отходами: изменение температуры существенно меняет параметры токсичности загрязнителей, что и привлекло внимание канадских экологов к этой проблеме.

В загрязнении водоемов большую роль играют соли тяжелых металлов — цинка, кадмия, ртути, меди, хрома и др. Было известно, например, что основной механизм токсического эффекта солей цинка и кадмия для рыб состоит в повреждении жаберного аппарата, в результате чего нарушается снабжение крови кислородом. Теперь установлено, что повышение температуры воды усиливает токсичность цинка и кадмия. Так, например, для мелких рыб вида *Pimephales promelas* токсичность цинка возрастает в 3 раза при увеличении температуры воды с 15 до 25 °С; выживаемость стальноголового лосося (*Salmo gairdneri*) в загрязненной солями цинка воде снижается в 2 раза при увеличении ее температуры с 12 до 22°.

Соли ртути принадлежат к наиболее токсичным загрязнителям воды; их действие угнетает активность Na^+/K^+ -зависимой АТФазы, участвующей в переносе одновалентных ионов через клеточную мембрану. Повышение температуры воды с 10 до 15° ускоряет на 50% гибель лососей от действия хлорида ртути (сулемы), содержащейся в воде в концентрации 0,4 мг/л.

С изменением температуры воды меняется токсичность и органических загрязнителей. Обнаружено, что для лосося токсичность цианидов в концентрациях, близких к летальным, с повышением температуры воды возрастает; напротив, при малых концентрациях цианидов их токсический эффект с ростом температуры ослабляется.

Установлена зависимость уровня токсичности от температуры воды и для такого распространенного типа органических загрязнителей водоемов, как хлорированные углеводороды, к

которым относятся ДДТ, гексахлоран и другие инсектициды. Экспериментально показано, что токсичность ДДТ для лососей максимальна при температуре 20°; с ростом температуры до 30° или с уменьшением до 10° токсичность ДДТ снижается (по-видимому, за счет изменения динамики всасывания и выведения вещества из организма).

Зависимость от температуры воды токсического эффекта поверхностно-активных веществ пока изучена недостаточно.

Материалы, собранные канадскими учеными, показывают, что при разработке безвредных для обитателей водоемов уровней загрязнения необходимо учитывать возможные колебания температуры окружающей среды.

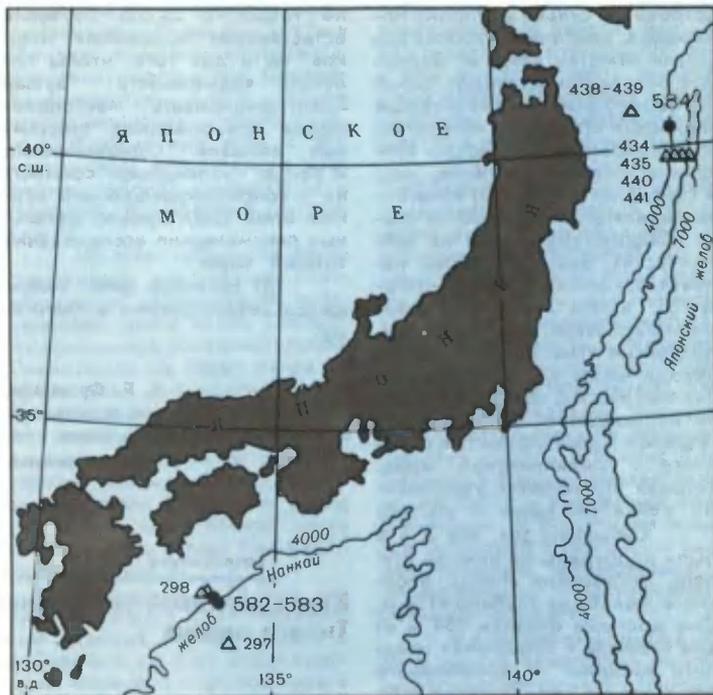
National Research Council Canada, Publication, 1982, № 18566 (Канада).

Геология

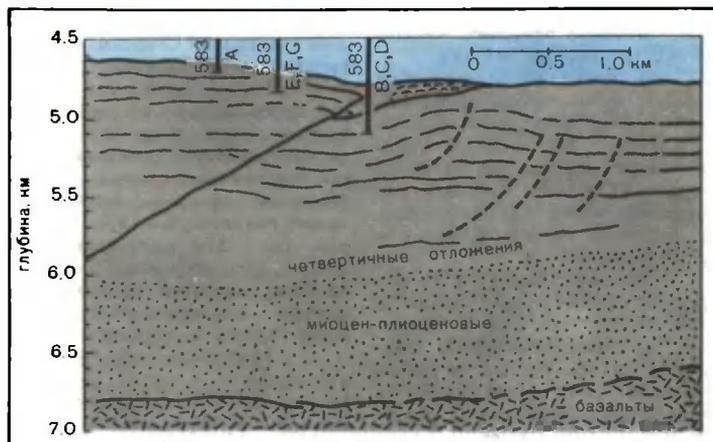
87-й и 88-й рейсы «Гломара Челленджера»

Оба рейса¹ были сравнительно короткими. 87-й начался 25 июня 1982 г. в Исогаме и завершился прибытием 18 августа в порт Хакодате (Япония). Бурение проводилось в двух прилежащих к Японии желобах: Нанкай, который расположен в Филиппинском море, и Японском, отделяющем Тихоокеанскую литосферную плиту от Японских о-вов. Всего в рейсе пробурено 14 неглубоких скважин: в точке 582 — три скважины, в точке 583 — восемь и в точке 584 — три.

Скважина 582, расположенная в оси желоба Нанкай, достигла глубины 749,4 м ниже уровня дна океана и вскрыла породы, имеющие возраст 650 тыс. лет. Осадки, заполняющие желоб, представляют собой турбидиты и бативальные глины и илы (глубоководные отложения открытого моря). Турбидитные отложения образованы вулкани-



Район работ «Гломара Челленджера» в 87-м рейсе. Кругами обозначены скважины данного рейса, треугольниками — предыдущих 31-го и 56-го; изобаты — в метрах.



Сейсмический разрез через желоб Нанкай и положение скважин.

ческим пеплом, тяжелыми минералами, обломками пород, слагающих острова. Скорость накопления осадков в желобе высека, но непостоянна; примерно

400 тыс. лет назад она резко уменьшилась от 900 до 300 м/млн лет. Пройдя названные отложения, скважина вошла в позднелиоценовые-раннечетвертичные осадки, заполняющие впадину Шикоку.

Из восьми скважин в точке 583, пробуренных на разрезе, который проходит от подножия

¹ JOIDES J., 1983, v. IX, № 1, p. 4—12.

островного склона в сторону побережья, наиболее глубокая достигла отметки 439,7 м. Вскрытые осадки представляют собой глубоководные темно-серые глинистые отложения четвертичного возраста с прослоями вулканического пепла, песка, ила. В скважинах 583 (B—D) отчетливо выделяются поверхности срыва осадков, видимые и на сейсмических разрезах. Углы падения осадочных слоев достигают 55° в том месте, где скважина пересекает зону поддвига. Интересно отметить, что при переходе через эту зону изменения физических свойств осадков не наблюдается. Вероятно, это связано с малой скоростью спрединга в Филиппинском море, которая оценивается участниками рейса не выше 2 см/год.

Скважины 584, 584 А и В были пробурены на нижней ступени островного склона Японского желоба на глубине 4114 м. Они достигли отметки 954 м от дна и вошли в отложения среднего миоцена — древнейшего образования из когда-либо вскрытых бурением на этом склоне желоба. Исследование пеплов, залегающих среди глинистых отложений, показало, что вулканизм на Японских о-вах начался (вероятно, после перерыва) в конце позднего миоцена и с тех пор не затихал.

Анализируя полученные данные, в том числе палеомагнитные, участники рейса пришли к выводу, что нижняя часть островного склона по крайней мере с середины миоцена погружалась и уже в конце миоцена достигла глубин, близких к современным.

Покинув Хакодате 19 августа, буровое судно вышло в свой 88-й рейс. Оно направилось в Северо-Западную котловину Тихого океана, в район скважины 581, пробуренной в 86-м рейсе². Здесь перед участниками экспедиции стояли специальные инженерно-геофизические задачи. В скважине 581 была поставлена сейсмическая станция, способная регистрировать землетрясения на протяжении 75 суток. Сообщается, что этот район океана был выбран

не только с целью изучения естественных подземных толчков, но и для того, чтобы получить возможность лучше идентифицировать местоположение искусственных подземных взрывов. Одновременно «Гломар Челленджер» совместно с сопровождавшим его судном ВМФ США провел детальные сейсмические исследования земной коры.

20 сентября рейс завершился возвращением в Исокагуму.

А. Е. Сузюмов,
кандидат геолого-
минералогических наук
Москва

Геотектоника

Карта плитовой тектоники Тихого океана

В рамках осуществляемого по решению Международного союза геологических наук Проекта картирования Тихого океана и его обрамления (Circum-Pacific Map Project) вышла в свет цветная карта плитовой тектоники Тихого океана (масштаб 1:20 000 000).

Карта показывает активные границы плит земной коры, в том числе зоны субдукции (погружения плит), оси спрединга (растяжения коры), трансформные разломы; интратипитовые разломы; векторы движения плит, оси магнитных аномалий; отражает новейший вулканизм, «горячие точки», эпицентры землетрясений с их магнитудами и глубиной очага.

Подробная объяснительная записка к карте составлена американским геотектоником Дж. У. Муром (G. W. Moore). В информации прикладного характера содержатся данные о распространении и химическом составе марганцевых конкреций, скоплений фосфоритов и крупных залежей сульфидов. Карта распространяется Американской ассоциацией геологов-нефтяников.

Полный объем названного Проекта предусматривает издание к 1985 г. еще 5 карт

(43 листа), посвященных геологии, полезным ископаемым и энергетическим ресурсам Тихоокеанского региона.

Episodes, 1983, № 1, p. 28—29
(Канада).

Геотектоника

Геологическая история Калифорнии

Достаточно распространенная ныне гипотеза глобальной тектоники предполагает медленный и систематический рост континентов в процессе субдукции: одна плита земной коры пододвигается под другую, при этом большие массы осадочных пород соскребаются с «ныряющей» плиты, а в пределах верхней мантии возникает вулканическая активность. Однако такой механизм не в состоянии объяснить, в частности, огромное разнообразие геологических формаций и весьма необычное размещение пород в западной части Северной Америки. Неясны также пути проникновения ископаемых остатков животного и растительного мира Азии в осадочные отложения Канады; не в пользу этой гипотезы говорят и результаты здешних палеомагнитных исследований, позволяющих изучать «вмороженное» в породы древнее магнитное поле и судить о возможных путях перемещения соответствующих масс земной коры.

В связи с этим привлекает внимание работа К. Блейка, Д. Хауэлла и Д. Джонса (C. Blake, D. Howell, D. Jones; Западное отделение Управления геологической съемки США, штат Калифорния), сторонников альтернативной гипотезы — аккреционной, или микроплитовой, тектоники. Согласно этой гипотезе, в верхней части глобальных плит земной коры расположены движущиеся вместе с ними более мелкие плиты; сталкиваясь, они оказывают решающее влияние на строение окраин континента. По мнению авторов, не более 15—20% площади нынешней Калифорнии можно назвать коренной, ос-

² См.: Природа, 1983, № 11, с. 2.



Шесть «эпизодов» в геологической истории Калифорнии (пояснения в тексте).

тальная же была принесена благодаря движению микроплит.

Исследователи выделяют шесть отдельных «эпизодов» (см. схему), в результате которых за последние примерно 150 млн лет в ходе перемещений земной коры со скоростью до 25 см/год сложилось нынешнее геологическое лицо Калифорнии.

Этот процесс начался около 150 млн лет назад, когда в результате столкновения и аккреции сравнительно небольших плит земной коры образовались западные фланги хребта Сьерра-Невада и горы Клямат (эпизод 1). Отдельные «чужеродные» участки земной коры содержат здесь остатки морских ископаемых из древнего моря Тетис, существовавшего 250 млн лет назад на юго-востоке Евразии.

Около 125 млн лет назад начала формироваться Центральная калифорнийская долина. В течение последующих 35 млн лет здесь шло «приращение» плит в процессе возобновившейся субдукции; вулканическая активность усилилась, гранитные породы покрыли большую часть Сьерры-Невады (эпизод 2).

Около 90 млн лет назад в эту геологическую область бы-

привнесён новый «чужеродный» участок коры. Очевидно, это был обломок древнего континента, подошедшего под Северо-Американскую плиту; смесь крупнозернистых песчаников, соскребынных при этом с его поверхности, встречается в различных районах центральной и северной Калифорнии (эпизод 3).

На этом субдукция приостановилась, её сменило горизонтальное перемещение океанической плиты вдоль Северо-Американской континентальной. Скользящая на север плита на протяжении миллионов лет перемещала «чужеродные» участки коры на расстояния в тысячи километров. Их столкновения и взаимодействия завершились около 55 млн лет назад созданием значительной части современного залива Сан-Франциско (эпизод 4).

Между 38 и 20 млн лет назад сложился 400-километровый отрезок северо-западного побережья за счет взаимодействия коренных участков коры с обломками древнего исчезнувшего континента (эпизод 5).

Наконец, около 15 млн лет назад возник небольшой прибрежный хребет около мыса Мендосино (эпизод 6).

Новая гипотеза, широко обсуждаемая специалистами, может существенно «обновить» плитовую тектонику и понимание процессов горообразования, а также способствовать совершенствованию теории поиска полезных ископаемых и разработке прогноза землетрясений.

New Scientist, 1983, v. 97, № 1345, p. 438 (Великобритания).

Геофизика

Советско-финский эксперимент с МГД-генератором

С 1976 г. на Кольском п-ове в рамках эксперимента «Хибины» проводится глубинное электромагнитное зондирование земной коры и верхней мантии с помощью МГД-генератора¹. Цель эксперимента — геоэлектрическое картирование

территории и исследование электрического разреза Балтийского щита до глубины 100 км, с тем чтобы уточнить физическую модель литосферы и астеносферы Земли, состав их вещества и температурный режим.

В ходе эксперимента потребовалось расширить сектор зондирования и провести наблюдения на больших удалениях от источника — в 300—500 км от него, причем нужны были районы с незначительными горизонтальными неоднородностями пород. Подходящими оказались обширные гранитоидные массивы Северной Финляндии, где и были организованы совместные советско-финские экспедиционные работы в рамках Соглашения о сотрудничестве между АН СССР и Академией наук Финляндии. В Финляндии впервые проводятся глубинные геоэлектрические исследования с управляемыми источниками большой мощности.

В ходе работ в земной коре и мантии измерялись компоненты горизонтального электрического поля E_x и E_y , ориентированные по магнитной широте и меридиану. В эксперименте использовались активные фильтры, разработанные в Отделении геофизики Университета г. Оулу (Финляндия). Они позволяли отделить высокочастотный шум при регистрации МГД-импульсов, ограничивать частотный диапазон в узкой полосе и сохранять чувствительность каналов почти постоянной.

Предварительный анализ данных, проведенный участниками эксперимента, показал, что территория Северной Финляндии весьма благоприятна для проведения глубинных электромагнитных зондирований с МГД-генератором: уровень индустриальных помех здесь намного ниже, чем на Кольском п-ове, и наличие обширные электрически однородные массивы плохо проводящих пород. В структуре электрического поля района четко отражаются особенности контрастных проводящих

¹ Подробнее о методике и основных деталях эксперимента см.: Волков Ю. М. МГД-генераторы в исследованиях земной коры. — Природа, 1983, № 7, с. 2.

образований, продолжение которых изучено на территории СССР, граничащей с Финляндией.

В будущем на территории Северной Финляндии предполагается вести работы по двум направлениям. Первое — детально изучать геоэлектрический разрез земной коры и верхней мантии Балтийского щита до глубины 100 км и осуществлять геоэлектрическое картирование центральной и восточной части Балтийского щита. Второе — построить карту электропроводности верхней 10-километровой толщи земной коры, которая позволит прогнозировать месторождения полезных ископаемых.

Доклады АН СССР, 1983, т. 271, с. 324—347.

Геология

Древнейшие породы Земли

Группа австралийских геохимиков, возглавляемая У. Компстоном (W. Compston; Школа наук о Земле при Национальном университете в Канберре), провела изотопный геохронологический анализ 4-х образцов породы, взятых в обнажениях горы Наррайер, в 200 км к западу от Микатарры (штат Западная Австралия). Возраст пород оказался в пределах между 4,1 и 4,2 млрд лет, что позволяет отнести их к числу древнейших из известных до сих пор науке. Впервые получены свидетельства, что 4,2 млрд лет назад Земля уже обладала твердой корой.

Образцы представляют собой кристаллические детритовые цирконы, которые включены в архейские песчаники, отложившиеся примерно 2,8 млрд лет назад. Содержание урана и свинца определялось методами ионной масс-спектрометрии, что позволяет непосредственно измерять соотношение изотопов при весьма малом объеме вещества.

Рекордным возрастом для «цельных» образцов породы по-прежнему остается 3,8 млрд лет, который был уста-

новлен в 1971 г. для сильно измененных перекристаллизованных осадочных пород п-ова Исуа (Западная Гренландия) группой геофизиков, возглавляемой С. Мурбатом (S. Moores; Оксфордский университет, Великобритания).

New Scientist, 1983, v. 98, № 1358, p. 437 (Великобритания).

Сейсмология

Уроки Акинского землетрясения

26 мая 1983 г. в 12 ч 16 мин по местному времени в Японском море произошло мощное землетрясение магнитудой 7,7 по шкале Рихтера. Эпицентр его находился в 700 км к западу от г. Акита (северо-запад о-ва Хонсю), очаг — на глубине 40 км под морским дном. Первая вызванная толчком волна цунами обрушилась на побережье через 10 мин, вторая — еще через 18, третья — спустя 10 мин после второй. Максимальная высота волны по выходе на берег достигла 3 м. Нескольких судов оказались выброшенными на сушу; погибло более 100 человек, главным образом унесенных цунами. Это было наиболее сильное цунами, из отмеченных в Японии с 1944 г. Землетрясение ощущалось в радиусе более 500 км, включая весь район Токио.

С научной точки зрения важен тот факт, что землетрясение произошло на западной стороне Японских о-вов, т. е. в районе, считавшемся сравнительно низкосейсмичным. Правда, внимание специалистов привлекало зарегистрированное в районе п-ова Ога (западнее побережья Хонсю) воздымание земной поверхности (на 4 см за последние 12 лет), однако разрабатанный прогноз землетрясения касался только этого локального участка. Основной зоной сейсмической опасности в Японии упорно считалось ее восточное, тихоокеанское побережье, где и находился единственный подводный сейсмограф. Второй сейсмограф, быв-

ший к тому времени в стадии монтажа, также располагался у восточного побережья страны.

Получив от наземной сейсмической сети данные о толчке, ЭВМ в Сендае (северо-восток о-ва Хонсю) выдала прогноз, согласно которому через 7 мин следовало ожидать катастрофическое цунами, однако спасательные и пожарные станции получили сигнал тревоги только через 15 мин.

Эти события вызвали необходимость пересмотреть ряд сейсмологических и геодинамических положений: теперь очевидно, что при определенных условиях крупные подземные толчки могут происходить не только в зонах взаимодействия плит земной коры (как это наблюдается, например, к востоку от Японских о-вов, где одна плита «подминает» другую), но и вне таких зон, как это случилось в Японском море.

New Scientist, 1983, v. 98, № 1360, p. 609 (Великобритания).

Сейсмология

Открыт древний разлом

2 мая 1983 г. в районе Коалинги (штат Калифорния, США) произошло сильное землетрясение с магнитудой 6,5 по шкале Рихтера и глубиной залегания очага около 10 км. Затем последовало несколько тысяч повторных толчков, два из которых имели магнитуду 5,1 и 4,5 при глубине очага около 5 км. Определив с достаточной точностью местоположение повторных толчков, сейсмологи установили, что движением был охвачен район, имеющий около 30 км в длину и 10 км в ширину. Измерители крипа (сползания) земной коры зарегистрировали ее смещение не менее чем на 0,45 см.

Подобные события обычно сопровождаются появлением значительных трещин в земной коре и ее проседанием. Здесь это казалось тем более вероятным, что всего в 40 км к западу от эпицентра находится известный своей нестабильностью район разлома земной коры Сан-Андреас. Но сотрудики Уп-

равления геологической съемки США (Менло-Парк, Калифорния), немедленно изучившие события на месте, никаких свидетельств подобных явлений не обнаружили. Зато исследование сейсмических материалов позволило открыть ранее неизвестный здесь, захороненный под поверхностью древний разлом, возраст которого, очевидно, на десятки миллионов лет превышает возраст разлома Сан-Андрес.

Майские землетрясения 1983 г., по-видимому, представляли собой резкие движения плит по этому древнему разлому. Если давно изучаемые сейсмические явления в Сан-Андресе вызваны почти строго вертикальными движениями плит земной коры, то в пределах сбросового разлома Коалинга плиты двигались по наклонной плоскости.

Science News, 1983, v. 123, № 21, p. 329 (США).

Вулканология

Необычная активность Эребуса

Международная группа исследователей из США, Японии и Новой Зеландии изучает самый южный по географическому положению действующий вулкан — Эребус. В ноябре 1982 г. было обнаружено, что автоматические сейсмические станции, установленные на склонах и вершине вулкана предыдущими экспедициями, зарегистрировали необычайно высокую активность недр. Только за одни сутки 8 октября отмечено 650 слабых подземных толчков; 9 октября — 140; на следующий день — 120 толчков. До рекордной записи 8 октября сейсмографы ежедневно фиксировали от 20 до 80 мини-землетрясений. Вопреки отмеченной высокой сейсмической активности никаких внешних признаков вулканического извержения не наблюдалось.

Эребус — вулкан уникальный; таким делают его ледяной панцирь снаружи и магматические расплавы внутри тела вулкана. В кратере находится озеро

диаметром 91,5 м, образованное расплавленной лавой. По мнению исследователей, такое лавовое озеро может служить «потолком» подземной магматической камеры — хранилища лавы внутри вулкана, а подземные толчки вызваны движением магмы в этой камере (подобный механизм перемещения масс в магматической камере привел летом 1982 г. к землетрясениям в районе Маммот-Лейкс (штат Калифорния, США). Вероятность скорого извержения Эребуса считается в настоящее время почти равной нулю, поскольку внутри него отсутствует избыточное давление, способное привести его в действие. Специалисты характеризуют Эребус как вулкан, находящийся в состоянии «гидростатического равновесия».

Совершив восхождение к вершине Эребуса (3658,5 м над ур. м.), участники экспедиции обнаружили, что за год, истекший с последнего посещения, озеро понизило уровень на 3 м, утратив при этом около 8500 м³ лавы. Отсутствие лавы на склонах вулкана заставляет предположить, что расплавленная порода просочилась в появившуюся вследствие толчков трещину в стенках магматической камеры, образовав дайку. Местоположение и размеры дайки предстоит обнаружить по характеру записи сейсмических волн (эта методика уже использовалась для определения пути, ведущего от магматической камеры к лавовому озеру).

Bulletin of the American Meteorological Society, 1983, v. 64, № 5, p. 522—523 (США).

Палеонтология

Древнейший осьминог

Французские палеонтологи Б. Риу и Ж.-К. Фишер (B. Riou, J.-C. Fischer; Институт палеонтологии, Париж) обнаружили на юге страны, в департаменте Ардеш, ископаемые остатки неизвестного науке животного. Оказалось, что это представитель осьминогов; ему присвоено название *Proteroctopus*.

Время существования протероктопуса относится к юр-



Протероктопус — древнейший представитель осьминогов.

скому периоду (примерно 155 млн лет назад). Таким образом, по возрасту он значительно превосходит вид *Palaeoctopus newboldi*, считавшийся до сих пор древнейшим предшественником нынешнего спрута. Исключительная сохранность подобной находки (до нее наука располагала лишь четырьмя экземплярами палеоосьминогов, имевших возраст от 65 до 100 млн лет) объясняется редким совпадением двух обстоятельств: быстрым захоронением мягкого тела животного и мелкозернистой структурой вмещающей его осадочной породы (слоя мергеля).

Размеры протероктопуса невелики: общая длина в размахе щупалец — около 14 см, наибольшее из щупалец достигает 3,6 см. У него хорошо развитые плавательные органы и относительно мощные щупальца. Присоски на щупальцах небольшие, что связано, очевидно, с малыми размерами его добычи.

Более крупная голова, развитые плавательные органы, сильные щупальца позволяют специалистам утверждать, что протероктопус является более прямым предком современных осьминогов, нежели палеооктопус.

New Scientist, 1983, v. 97, № 1341 p. 155 (Великобритания).

К изданию трудов основоположника эволюционной генетики

А. А. Малиновский,
доктор биологических наук
Москва



С. С. Четвериков. ПРОБЛЕМЫ ОБЩЕЙ БИОЛОГИИ И ГЕНЕТИКИ (воспоминания, статьи, лекции). Под ред. З. С. Никоро. Новосибирск: Наука, 1983, 273 с.

В связи со столетием со дня рождения нашего выдающегося зоолога и генетика Сергея Сергеевича Четверикова (1880—1959) издан том его избранных трудов, подготовленный к печати З. С. Никоро, которая ряд лет была сотрудницей Четверикова.

Помещенные в сборнике «Воспоминания» Четверикова показывают, как его любовь к природе, проявившаяся еще в детские годы, вылилась в интерес к естественной истории, который прошел красной нитью через всю его научную жизнь. «Воспоминания» рисуют яркие картины революционной настро-

енности русского студенчества в самом начале века и в период первой русской революции. Завершаются «Воспоминания» главой, где рассказано о мотивах создания дискуссионного кружка «СООР» (от «совместного орания»). Это был возглавлявшийся Сергеем Сергеевичем научный семинар, действовавший при его лаборатории генетики в кольцовском Институте экспериментальной биологии Наркомздрава СССР. Для нас, биологов, этот семинар важен тем, что именно в ходе СООРов сложились принципы новой области биологического знания — эволюционной генетики; ученые СООРы, несомненно, заинтересуют как одна из ранних попыток создать новую форму научных коллективов, получивших впоследствии большое значение. Напомню, что «Воспоминания» Четверикова ранее публиковались в «Природе» (в № 2 за 1974 г. и в № 5, 11 и 12 за 1980 г.).

В книге собраны все главные общеприкладные статьи, которые не утратили научного значения и по сей день. Замечу, что Четвериков принадлежит к той категории естествоиспытателей, чье научное наследие количественно очень невелико, но которые немногими своими работами оказали значительное влияние на пути развития биологии. Н. П. Дубинин писал, что из 26 или 30 опубликованных Четвериковым статей широко известны лишь 5, но из этих пяти каждая «всег» больше многих книг; а Ф. Г. Добржанский сравнивал значение статьи Четверикова «О некоторых моментах эволюционного процесса с точки зрения современной генетики» (1926) со значением «Опытов над растительными гибридами» Менделя. Статья 1926 г. вошла в золотой фонд биологии; именно она более всего обеспечила Четверикову почетное место в истории науки. Это теоретическое исследование давно стало классическим; оно дважды

переиздавалось по-русски, один раз по-французски (в Швейцарии) и дважды по-английски (в США). В настоящее же переиздание включена также написанная зимой 1928/29 г. пятая глава, при жизни Четверикова не публиковавшаяся. Она посвящена primero в мире экспериментальному анализу груза мутаций в диких популяциях дрозофилы, проведенному лабораторией Четверикова и под его руководством в 1925—1926 гг. Теоретическое исследование 1926 г. и экспериментальный анализ 1925—1926 гг. заложили фундамент для создания эволюционной генетики. Развитию этих событий посвящена большая вводная статья В. В. Бабкова «Центральная проблема генетики популяций», которая, на мой взгляд, крайне важна для правильного понимания роли Четверикова в истории научной мысли. В. В. Бабков анализирует четвериковскую программу построения эволюционной генетики и различает в ней ряд теоретических моментов: центральную проблему (природа и поддержание изменчивости в популяциях), системный подход — которые были сердцем этой программы — и связанную с ними временную модель генетической эволюции, имевшую вспомогательное значение. Определенность программы и вместе с тем предусмотрительная ею возможность совершенствования модели принесли успех поставленной и в целом решенной Четвериковым проблеме, получившей далее развитие и конкретизацию в работах его учеников и последователей.

В статье 1905 г. «Волны жизни» (публиковалась в «Природе», 1980, № 11) Сергей Сергеевич, тогда еще студент, привлек внимание к возможной эволюционной роли колебаний численности природных популяций. Эта линия рассуждений Четверикова, как и некоторые указания А. С. Серебровского, получила наиболее полное раз-

витие в теории так называемых ГАПов — «генетико-автоматических процессов» Д. Д. Ромашова и Н. П. Дубинина.

Впервые на русском языке (в переводе З. С. Никоро) опубликована здесь магистерская диссертация Четверикова 1913 г., посвященная морфологии хорошо известного пресноводного рачка — водяного ослика (в 1915 г. она была напечатана в «Бюллетене Московского общества испытателей природы» по-немецки). Диссертация дала фактическую основу для очень интересного обобщения, опубликованного Четвериковым в 1915 г. (по-английски в США в 1920 г.) под названием «Основной фактор эволюции насекомых». Разбирая контрасты направления путей эволюции двух процветающих групп животных — увеличение размеров тела у позвоночных и уменьшение у насекомых, Четвериков увидел причину этого явления в существовании у насекомых специфического наружного (хитинового) скелета, благодаря которому они оказались в состоянии завоевать себе место среди других наземных животных и размножиться в бесконечном разнообразии форм.

Раздел «Планы, тезисы, конспекты» включает, прежде всего, тезисы трех докладов, связанных с темой статьи 1926 г.: два были прочитаны на II (май 1925 г.) и III (декабрь 1927 г.) Съездах зоологов, анатомов и гистологов, в Москве и Ленинграде, третий — на V Международном генетическом конгрессе в Берлине в мае 1927 г. Тезисы доклада на Совещании по селекции и акклиматизации дубовых шелкопрядов в 1940 г. посвящены работе по выведению моновольтинной породы, пригодной для средней полосы России. За эту работу Четвериков был удостоен ордена «Знак Почета».

В книге публикуется также конспект лекции 1947 г. по отдаленной гибридизации и статья «Биометрия» из 1-го издания БСЭ. Статья демонстрирует высокую математическую культуру Четверикова, которую нам интересно отметить в связи с тем, что — в отличие от Р. Фишера, С. Райта, Дж. Холдейна — он почти не употреблял математики

при синтезе принципов менделевского наследования и дарвиновского отбора. Причина тому, как мы видим, не в незнании математических методов, а в стремлении избежать чрезмерно ранней математической формализации, как и вообще формализации (например, строго определяя основные новые понятия, Четвериков не вводил новых терминов), которая резко ограничила бы разнообразие возможностей для нарождающейся науки. Можно считать весьма выигрышной такую стратегию исследования. Действительно, западные коллеги Четверикова, широко применявшие математические методы, были вынуждены вводить множество условных ограничений — например, считать неизменной «адаптивную ценность» данного гена (с чем контрастировала четвериковская концепция «генотипической среды»: фенотипическое выражение мутации зависит от того, в какое генотипическое окружение она попала). А подобные условные ограничения часто снижают биологический смысл математических моделей.

В приложении дан список основных публикаций, посвященных Четверикову. Мне приятно отметить, что журнал «Природа» на протяжении ряда лет вносит определенный вклад в освещение научной деятельности наших выдающихся биологов, включая Четверикова.

Рецензируемая книга является прекрасным подарком всем, кому интересна история биологии. Это, прежде всего, биологи-исследователи (у которых нет времени на исторические разыскания), а также преподаватели и, я подчеркну это, философы естествознания. Значение этого издания, однако, не ограничивается освещением прошлого. Книга несет достаточный эвристический заряд для того, чтобы послужить биологам нынешнего поколения источником вдохновения. И в этом смысле избранные труды Четверикова (как и вышедшие недавно избранные труды И. И. Шмальгаузена) обращены в будущее. К ним в полной мере можно отнести слова Н. К. Рериха: «Из прекрасных камней

прошлого сложите ступени будущего».

У каждого настоящего зоолога есть своя любимая группа животных. У Сергея Сергеевича это были бабочки. Его энтомологические работы, обладающие большой ценностью, составляют еще одну книгу его избранных трудов, которая уже готовится к печати. Таким образом, это будет, по существу, двухтомник, что, к сожалению, не отмечено на титульном листе вышеуказанного тома. Кстати говоря, это отнюдь не единственная погрешность — в выходных данных книги не отмечен также факт существования предисловия М. Д. Голубовского и вступительной статьи В. В. Бабкова, есть огрехи и в самих комментариях, по всему тексту встречаются опечатки. Подобных промахов необходимо избегать при подготовке второй книги.

На мой взгляд, в следующем томе нужно поместить полную биографию Четверикова, написанную Б. Л. Астауровым (доклад, читанный на Четвериковском мемориале в Горьком в мае 1973 г. и опубликованный в сокращенном виде в «Природе», № 2 за 1974 г.), и «Воспоминания о С. С. Четверикове» И. И. Пузанова. Хорошо было бы включить во второй том побольше фотографий (в первом томе помещен только один портрет). Именной и предметный указатели сразу к двум томам, а также список трудов Четверикова повысили бы ценность издания.

Изучение китов и дельфинов методами фенетики

Академик АН УССР
С. М. Гершензон

Киев

Книга основана на материале, полученном авторами при их многолетней работе в рамках проекта «Морские млекопитающие» межправительственного Советско-Американского соглашения (1972 г.) по охране окружающей среды. Научное значе-



В. Эванс, А. В. Яблоков. ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОКРАСКИ КИТООБРАЗНЫХ. НОВЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ОКРАСКИ МЛЕКОПИТАЮЩИХ. Отв. ред. В. А. Земский. М.: Наука, 1983, 136 с.

ние этой книги много шире, чем можно было бы предположить, исходя из ее названия. Во-первых, в ней приведены ценные сведения, углубляющие знания о биологических особенностях и экологии китообразных. Это весьма важно для планирования и регулирования их промысла и особенно для разработки мер по их охране — численность многих видов этих морских млекопитающих резко упала вследствие чрезмерного истребления, а некоторые из китообразных находятся сейчас на грани полного уничтожения. Во-вторых, сообщаемые данные и сделанные из них выводы существенны для решения ряда принципиальных вопросов биологии популяций, популяционной генетики и микроэволюции не только китообразных и даже не только млекопитающих вообще, но и в большой мере для множества представителей разных других групп организмов.

После краткого введения, где сформулированы задачи, которые ставили перед собой авторы, идут два раздела общего характера. В первом из них рассматривается строение и

функционирование глаз китообразных и адаптивные особенности их зрения, связанные с характером распространения света в водной среде. Второй раздел содержит описание и классификацию главнейших типов окраски китообразных, соображения о возможной ее приспособительной роли, а также полученные авторами книги и литературные данные о генетике окраски китообразных, в том числе о наследовании основного цвета покровов и распределении темных и светлых участков. Авторы высказывают предположение о подобию некоторых генов, определяющих окраску китообразных, известным генам окраски наземных млекопитающих.

Затем следует большой раздел, в котором подробно рассмотрена внутривидовая изменчивость окраски почти двадцати видов китов и дельфинов. Этот богатейший новый материал иллюстрирован многочисленными схематическими рисунками, изображающими различия окраски у особей одного и того же вида. Большое внимание уделено географическим (межпопуляционным) и внутривидовым вариациям рисунка и интенсивности окраски. И по широте охваченного материала, и по значению установленных закономерностей полученные данные далеко превосходят все известное в этой области.

Последний раздел книги и примыкающие к нему заключение и приложение посвящены перспективам использования изменчивости окраски млекопитающих для решения проблем биологии популяций и популяционной генетики.

До сих пор популяционная генетика располагала почти исключительно только теми данными, которые были добыты при исследовании генетической структуры популяций, т. е. при выяснении частоты встречаемых в ней различий, определяемых разными генными мутациями и, в гораздо меньшей степени, частоты структурных перестроек хромосом. В отношении генных мутаций неизменным требованием было проведение детального экспериментального анализа с помощью специальных скрещиваний; структурные абер-

рации хромосом (главным образом инверсии) выявляли цитогенетическими методами. При этом получаемые цитогенетическим путем сведения гораздо менее значимы для решения основных вопросов генетики популяций, чем сведения относительно генных мутаций. Эти ставшие классическими подходы и, в первую очередь, исследования различия частоты тех или иных аллелей генов в разных популяциях одного и того же вида, а также годичной и сезонной динамики частоты этих аллелей позволили сделать ценнейшие обобщения, которые обогатили новым содержанием дарвинское учение о дивергентной эволюции, происходящей под действием естественного отбора.

Однако все такие генетико-популяционные работы ведутся методами генетического анализа, применимыми лишь к популяциям очень немногих видов животных и растений, т. е. почти исключительно к популяциям организмов с быстрой сменой поколений, достаточно плодовитых и способных размножаться в контролируемых условиях. Для огромного большинства видов животных и высших растений генетический анализ либо крайне трудоемок и длителен, либо вовсе неосуществим.

Выход из положения может быть найден, если у этих форм исследование биологии популяций и микроэволюции будет производиться методами популяционной фенетики — этот удачный термин вошел в современную биологию при активном содействии одного из авторов рецензируемой книги¹. Фенетика занимается изучением таких варьирующих — фенотипических — признаков, генная основа которых не расшифрована, но которую можно с вескими основаниями предположить путем сравнения данного вида с другими, генетически лучше исследованными. Основу этого подхода заложил в свое время Н. И. Вавилов своим замечательным законом гомологических

¹ Тимофеев-Ресовский Н. В., Яблоков А. В., Глотов Н. В. Очерк учения о популяции. М., 1973.

рядов в наследственной изменчивости.

Рецензируемая книга демонстрирует, что столь трудная для изучения группа животных, как морские млекопитающие, и китообразные в частности, может быть объектом такого подхода. Выделение популяций и их групп — одна из первоочередных задач при изучении этих животных в природе, важная для решения многих проблем их охраны и рационального использования — успешно решается фенетическими методами. Например, удалось выяснить, что косатки Антарктики по частотам фенетических признаков часто распадаются на три разные группы, косатки северной Атлантики — на две группы популяций, северной части Тихого океана — на три группы и т. п.

В книге показано, что популяционная фенетика окраски млекопитающих позволяет не только надежно устанавливать территориальные границы популяций и выделять внутривидовые группы, но и выявлять действие естественного отбора.

Более того, появляется способ идентифицировать группировки с определенным семейным сходством особей, что, в частности, открывает новые возможности для изучения поведения морских млекопитающих, особенностей организации их общества и т. п.

Думается, что авторы излишне скромны в своих выводах, говоря только об изменчивости окраски и только у млекопитающих. Их книга позволяет высказать мнение, что пути, которыми они шли в своей работе, могут быть с большим успехом использованы при изучении изменчивости различных других фенотипических признаков, а не одной лишь окраски, и притом не только у млекопитающих, но и у других классов и типов животных, а также у высших растений.

Нельзя не сказать и о недостатках книги. Не особенно удачно составлены таблицы отдельных дискретных признаков окраски. Описание вариаций некоторых видов китообразных, особенно это касается крупных

усатых китов, не доведено до конца, поскольку не отмечены многочисленные известные вариации окраски хвостовых лопастей и грудных пятен горбачей, гренландских китов. Не совсем удачно произведена разбивка текста на части и главы.

Но в целом книга оставляет отрадное впечатление и богатством научного содержания и логически четким его изложением. Книгу заключает краткое приложение, в котором показаны математические методы сравнения внутривидовых группировок по дискретным вариациям признака. Это приложение может оказаться полезным тем, кто работает в области биологии популяций, популяционной генетики и популяционной фенетики (при этом надо иметь в виду, что в первой из формул есть опечатка — опущены знаки квадратного корня). Приведена обширная библиография советских и зарубежных работ по затронутым в книге вопросам, имеется указатель видов и более высоких таксонов.

НОВЫЕ КНИГИ

Физика

А. Пуанкаре. О НАУКЕ. Перг. с франц. Под ред. Л. С. Понрягина. М.: Наука, Главн. ред. физ.-мат. литературы, 1983, 560 с., ц. 3 р. 20 к.

Анри Пуанкаре (1854—1912) излишне представлять читателям «Природы»: его имя широко известно. Гений Пуанкаре отличают чрезвычайное богатство идей, исключительная способность к интуиции и обобщениям, что нашло блестящее выражение в различных областях математики, физики, механики и астрономии. В середине 70-х годов в серии «Классики науки» вышли избранные труды Пуанкаре в трех томах, включающие о основном естественнонаучные работы. Но Пуанкаре был также автором целого ряда философских статей и книг, посвященных природе научного творчества и проблемам разви-

тия науки. Настоящий сборник содержит четыре таких произведения, ранее выходивших отдельными книгами. Первая вышла в 1902 г., последняя — в 1913 г., уже посмертно. Их русские переводы печатались более 60 лет назад и стали редкостью.

Книга «Наука и гипотеза» — первая из вошедших в сборник — рассматривает вопрос о роли гипотез в науке, без которых не обходятся ни теоретик, ни экспериментатор. Мысль великого ученого проникает в самые глубинные понятия нашего мира: как соотносятся математика и опыт, какова природа математического умозаключения, откуда происходят первоначальные принципы геометрии и какова здесь роль логики, наших ощущений и опыта.

В книге «Ценность науки» Пуанкаре пытается ответить на

извечный вопрос, что есть истина, в данном случае истина научная. Сюда включена его работа 1898 г. «Измерение времени», где проанализированы такие «простые» понятия, как равенство двух промежутков времени, одновременность, причинность. Конечно, нам гораздо легче оценить всю глубину идей Пуанкаре, чем его современникам: мы давно привыкли к тому, что классическое понимание времени неудовлетворительно. Тем увлекательнее следить за ходом мысли Пуанкаре, зная, что впоследствии будут признаны его выдающиеся заслуги в создании теории относительности.

В книге «Наука и метод» собраны этюды, относящиеся к вопросам научной методологии: как производится выбор экспериментальных фактов, каков психологический механизм творческой деятельности ученого и т. д. Приведем также мно-

го говорящее название нескольких разделов книги «Последние мысли»: «Эволюция законов», «Пространство и время», «Новые концепции материи», «Мораль и наука».

«Мысль — только вспышка света посреди долгой ночи. Но эта вспышка — все», — писал Пуанкаре. Его произведения, включенные в сборник, оказали большое влияние на формирование научного мировоззрения крупных ученых.

Издание завершает статья М. И. Панова, А. А. Тяпкина и А. С. Шибанова «Анри Пуанкаре и наука начала XX века».

Математика

П. Е. Эльясберг. ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ: СКОЛЬКО ЕЕ НУЖНО? КАК ЕЕ ОБРАБАТЫВАТЬ? М.: Наука, Главн. ред. физ.-мат. литературы, 1983, 206 с., ц. 70 к.

Каждое мгновение на Земле производится громадное количество измерений, объем и точность которых непрерывно возрастает. В связи с этим большую актуальность приобретает проблема правильной выбора оптимальной стратегии проведения и обработки этих измерений. Особенно важно это в том случае, когда по большому числу измерений определяется ограниченное количество параметров, характеризующих некоторое реальное явление. Примерами могут служить определение орбиты космического тела по данным большого числа наблюдений или вычисление параметров гравитационного поля Земли по геодезическим и гравиметрическим данным.

При решении таких задач исследуемое реальное явление заменяется математической моделью, при использовании которой необходимо учитывать и ошибки принятой модели, и ошибки измерений. Математическую теорию решения таких задач принято называть теорией оценивания. В настоящее время ей посвящается множество работ специального характера, однако широкий диапазон применения теории оценивания для решения самых различных прикладных задач вызывает достаточно острую не-

обходимость в ее популяризации.

Книга П. Е. Эльясберга представляет собой один из первых откликов на эту потребность времени. Цель ее — описание так называемого гарантирующего подхода к задачам оценивания, который существенно отличается от широко распространенного и уже ставшего классическим вероятностного подхода к обработке измерительной информации. Сравнению этих двух подходов посвящены две из четырех глав книги. Чтобы сделать их более доступными, автор предваряет эти две главы главой вспомогательного характера, в которой приводятся необходимые для дальнейшего изложения сведения из теории вероятностей. В заключительной, четвертой, главе книги приводится исследование оптимальной стратегии решения задач оценивания на примере простейшей двумерной модели.

Безусловно, даже при популярном изложении математической теории трудно обойтись без формул, математических выкладок и т. п. Однако используемый в книге математический аппарат, как правило, не выходит за пределы современного курса средней школы, и лишь в отдельных случаях автор вводит начальные элементы высшей математики.

Космические исследования

М. Ребров, В. Козырев, В. Денисенко. СССР—ФРАНЦИЯ. НА КОСМИЧЕСКИХ ОРБИТАХ. М.: Машиностроение, 1983, 88 с., ц. 2 р. 20 к.

Книга посвящена советско-французскому сотрудничеству в изучении и освоении космического пространства, начатому в 1966 г. За истекший период учеными двух стран было выполнено свыше 40 совместных проектов и программ. Основная часть книги отведена рассказу о советско-французском международном экипаже (в составе В. А. Джанибекова, А. С. Иванченко и Ж.Л. Кретьена), который в 1982 г. совершил полет на космическом корабле «Союз Т-6» и орбитальной станции

«Салют-7» и выполнил большую программу научных экспериментов. Книга отлична иллюстрирована. Она рассчитана на самые широкие круги читателей.



Биология

РЕДКИЕ И ИСЧЕЗАЮЩИЕ ВИДЫ ПРИРОДНОЙ ФЛОРЫ СССР, КУЛЬТИВИРУЕМЫЕ В БОТАНИЧЕСКИХ САДАХ И ДРУГИХ ИНТРОДУКЦИОННЫХ ЦЕНТРАХ СТРАНЫ. Отв. ред. П. И. Лапин. М.: Наука, 1983, 304 с., ц. 2 р. 80 к.

Наиболее надежный способ защиты редких и исчезающих представителей природной флоры — их сохранение в естественных условиях. Но весьма важной дополнительной мерой служит их культивирование в ботанических садах. Здесь создается резервный фонд для репатриации растений в места их былого произрастания, разрабатываются и пропагандируются методы их выращивания и размножения.

На основе фактических данных, полученных из 94 ботанических садов страны, сотрудники Главного ботанического сада Академии наук СССР подготовили книгу, в которой содержатся сведения о 1117 видах редких растений, культивируемых в СССР. Вслед за краткой характеристикой вида идет перечень мест его культивирования, сообщается о его происхождении, сроке интродукции и поведении в культуре.

Впервые собранный вместе, этот материал будет полезен работникам охраны природы, ботаникам и в особенности сотрудникам ботанических садов.

Охрана природы

СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИИ. Науч. ред. [К. П. Буслов]. Рецензенты: И. А. Крылова, П. А. Водопьянов, И. К. Галко. Минск: Наука и техника, 1983, 232 с., ц. 1 р. 80 к.

В коллективной монографии (авторы К. Буслов, И. Жибуль, В. Боборыкин, С. Манин, Ю. Манин, Е. Капелян и др.) сделана попытка дать философскую

обоснование современной экологической картины мира, выработать единую «социально-экологическую концепцию, где экология рассматривается сквозь призму общественных и культурных отношений. В книге вскрывается безответственность, характерная для частнобизнеснического подхода к решению экологических проблем, и показаны преимущества экологической политики социалистических стран.

Ориентиром для успешного решения острых экологических проблем может, с точки зрения авторов, служить природоохранная ситуация в Москве. Вот один из примеров. С 1976 по 1980 г. здесь было построено и реконструировано 770 водохранилищ сооружений и введено в строй около 150 систем оборотного и последовательно-повторного использования воды. В результате не только сократилось потребление свежей воды для технических нужд, но и существенно снизился сброс в поверхностные водоемы неочищенных сточных вод.

Важнейшей социальной проблемой современности, подчеркивают авторы, является сохранение равновесия между последствиями антропогенной деятельности и природной средой, что во многом зависит от экологического воспитания, формирования нравственной позиции личности по отношению к природной среде.

География

С. В. Узин. ИМЯ НА КАРТЕ. Рец. Я. Ф. Антошко. М.: Мысль. Рец. геогр. литературы, 1983, 192 с., ц. 35 к.

Очерки, составляющие эту книгу, посвящены географам и путешественникам, чьи имена увековечены на карте Земли. Читатель познакомится с эпизодами из жизни мореплавателей В. М. Головнина и Ф. Ф. Беллинсгаузена, полярного исследователя А. Норденшельда, знаменитого ученого и путешественника А. Гумбольдта, исследователя Центральной Азии П. К. Козлова и др. Интересны изложенные в книге обстоятельства многократного по-

явления на карте имени В. А. Обручева.

Географические открытия делались не только во время путешествий, но и за письменным столом. В одном из очерков рассказывается, как, изучая записи в судовом журнале шхуны «Св. Анна», дрейфовавшей во льдах Карского моря, В. Ю. Визе обнаружил резкое отклонение в направлении дрейфа, сделал предположение о существовании в этом районе суши и нанес на карту ее контуры. Через несколько лет в составе экспедиции на ледоколе «Г. Седов» Визе участвовал в открытии «своего» острова в том месте, где и предполагал.

История науки

К. В. Фролов, А. А. Пархоманко, М. К. Усков. АНАТОЛИЙ АРКАДЬЕВИЧ БЛАГОНРАВОВ (1894—1975). Отв. ред. В. П. Мишин. М.: Наука, Науч.-биогр. сер., 1982, 350 с., ц. 1 р. 10 к.

Книга рассказывает о жизни и деятельности замечательного советского ученого в области механики (баллистики), талантливого организатора науки, дважды Героя Социалистического Труда, генерала-лейтенанта артиллерии, академика А. А. Благонравова. Широко показаны его работы в области исследования и разработки различных видов современной техники, в развитии машиностроения. Много лет Благонраов был председателем Комиссии по исследованию и использованию космического пространства при АН СССР, вице-президентом КОСПАР. Он внес большой вклад в развитие международного сотрудничества нашей страны в космических исследованиях. Эта сторона его деятельности также нашла достойное отражение в книге.

Особый интерес у читателей, несомненно, вызовут отрывки из воспоминаний Благонравова, напечатанные в приложении. Эти отрывки, охватывающие период с раннего детства Благонравова по 40-е годы нашего столетия, прекрасно дополняют приведенную в книге характеристику этого замечательного ученого и человека.

Методология науки. Археология

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСТОРИИ. Сост. сб. А. Т. Москаленко. Авт. предисл. Р. С. Васильевский. М.: Наука, 1983, 352 с., ц. 2 р. 70 к.

Французский историк М. Блок писал: «История — это обширный и разнообразный опыт человечества, встреча людей в веках». Однако, чтобы эта встреча была плодотворной, необходима проверка на точность методов, с помощью которых открываются многие исторические закономерности, уточняются объекты исследования, их границы и влияние на соседние и последующие события.

Поставленные в книге проблемы разнообразны: неравномерность исторического процесса и проблемы истории древнего мира (В. М. Массон), типология культуры как методологическая проблема, рассмотренная на примере Византии (З. В. Удальцова), ретроспективный метод и опыт его применения, связанный с возможностью этнографических интерпретаций археологических памятников (В. И. Молодин) и др.

Наиболее интересен раздел, посвященный методологическим проблемам археологии. А. П. Деревянко и А. Л. Симакова рассматривают вопросы, связанные с уровнями исследования: на первом (высшем) уровне главенствующую роль играют общетеоретические установки, с которыми исследователь приступает к работе; вторым является уровень, когда проблема рассматривается с точки зрения объективности, историзма, конкретности, когда происходит уточнение, типологизация и классификация культуры. Авторы отмечают необходимость создания обобщенной теории археологии.

Сборник приобретает тем большую ценность, что в нем опубликованы материалы покойного академика А. П. Окладникова: «Сибирь в панораме веков» (тезисы) и «Проблемы формирования первобытного искусства» (в соавторстве с Р. С. Васильевским).

Книга предназначена специалистам по логике, философии и методологии науки.

Наполеон Бонапарт и ... сахарная свекла

Э. Е. Гельман,
кандидат химических наук
Москва

Будучи одним из образованнейших людей своего времени, Наполеон ценил науку и со вниманием относился к ее достижениям. Сам избранный в 1797 г. в Институт Франции, он поддерживал дружеские отношения со многими из ученых. Однако трудно предположить, что поражавшая современников эрудиция Бонапарта включала в себя и систематизированные знания по химии, а тем более по ее истории. Сомнительно, чтобы первому консулу Французской Республики зачем-то понадобилось знать, что в 1747 г. (за 22 года до его рождения) немецкий химик А. Маргграф открыл сахар в ломтиках корней свеклы. Даже такой факт, как поднесение Маргграфом в 1761 г. частично рафинированного сахара королю Фридриху Великому, мог и не дойти через десятилетия до Бонапарта. Проблема сахара как таковая не стояла перед Наполеоном, пока он не стал императором, т. е. до 1804 г. Зато Бонапарт-император уже не только не мог не знать об открытии Маргграфа, но и не мог не понимать его значения. Причина — обострившиеся к тому времени отношения с Англией. Направленная против «владычицы морей» Континентальная блокада, которая была объявлена



Итальянский физик и физиолог Александро Вольта (1745—1827) демонстрирует перед Наполеоном, тогда первым консулом Французской Республики, изобретенный им новый источник тока — гальванический элемент. Фреска Н. Чиванелли. Музей физики и естественной истории, Флоренция.

Министр внутренних дел Франции М. де Монтальне преподносит императору Наполеону первые головы французского свекловичного сахара.

Наполеоном и его союзниками в 1806 г., резко снизила поставки сахарного тростника в Европу, и без того подорванные восстанием негров-рабов на островах Санта-Доминго и Гаити в конце XVIII в.

Германия, где цены на сахар в конце 1790-х годов особенно возросли, более других была заинтересована в его промышленном получении из свеклы. В 1802 г. ученик Маргграфа Ф. Ахард построил в Силезии (неподалеку от Штеная) первый в Германии свеклосахарный завод. В том же году в Тульской губернии (в селе Алябьево, Богородицкого уезда) генерал-майор Е. И. Бланкенгелль и подполковник Я. С. Есипов построили первый свеклосахарный завод в России.

Попытки насаждения свеклы как источника сахара в странах Европы насторожили Англию. Англичане сделали несколько попыток подкупить Ахарда с тем, чтобы он отказался от своих опытов по разведению сахарной свеклы. Когда это не удалось, они решили использовать научный авторитет своего соотечественника, выдающегося химика Гемфри Дэви, поскольку, возвратившись из Германии, где он знакомился с опытами Ахарда, Дэви утверждал, что «сахар, добываемый из свеклы, слишком кислый, чтобы служить продуктом питания»! Однако остановить «наступление свеклы» на европейские страны стало уже невозможно.

Бонапарт не сразу поверил в ее возможности — это было обратной стороной его безоговорочного доверия мнению некоторых ученых. Пользовавшийся большим расположением Наполеона, известный парижский химик и фармацевт А. Пармантье, который вошел в историю как неутомимый пропагандист картофеля, в вопросе о свекле занял противополо-



Титульный лист сборника «Мелочи жизни Наполеона I», изданного в Москве в 1908 г. В этой книге в новелле «Ученый» рассказывается о том, что Наполеон в беседе с выдающимся французским зоологом и палеонтологом Жоржем Кювье обсуждал проблему производства свекловичного сахара.

ложную позицию. Его, правда, нельзя назвать ярким врагом свеклосеяния, однако за свеклой он признавал значение продукта «питательного и лакомого лишь для скота». Характеризуя это «смутное» для свеклы время, немецкий историк М. Шиппель писал: «Подобно тому как алхимики некогда искали золото, так пытались во Франции из всевозможных растений и смесей раздобыть сахар. Сегодня овощи и мед, завтра каштаны и виноград, затем клен и маис должны были обеспечить хозяйственную независимость от Англии и ее колоний»²

Под влиянием Пармантье Наполеон в течение 1806—1810 гг. поощрял попытки заменить тростниковый сахар виноградным. Когда испанскому химику (по происхождению француз) Ж. Прусту удалось получить твердый сахар из концентрированного виноградного сока, Наполеон пожаловал ему по-

четный орден и предложил премию в 100 000 франков при условии, что он свое открытие доведет до промышленного применения. Но, очевидно, не веривший в успех этого предприятия и вообще далекий тогда от прикладных интересов, Пруст от предложения Наполеона вежливо отказался. Действительно, продуктивность примерно десяти работавших во Франции виноградно-сахарных заводов была крайне низкой. Так, в 1811 г. все эти заводы произвели 2 млн кг сиропа и только 500 кг сахара. Такая производительность удивительна для Наполеона, конечно, не могла.

С другой стороны, мимо Наполеона не прошли сведения об успехах свеклосахарной промышленности в некоторых немецких землях (особенно в Саксонии и в районах Магдебурга) и в самой Франции (например, в департаментах Дуб, Мон-Тоннер, Рюр, Рейн). Еще в 1808 г. французский министр внутренних дел М. де Монталиве преподнес Наполеону, как считают, первые две головы французского свекловичного сахара. Французский историк Ф. Шарни называет другую дату — 2 января 1812 г.³ Однако достоверно известно, что решительный поворот в пользу широкого развития свеклосахарной промышленности Наполеон сделал только в 1811 г, когда рядом поощрительных декретов и постановлений он стал проводить энергичную политику покровительства этой отрасли промышленности. Благодаря его властной руке свеклосеяние стало искусственно насаждаться чуть ли не во всех департаментах Франции. Налицо был перегиб! Американец Э. Слоссон описывает карикатуру на Наполеона в юмористическом журнале того времени. На ней император изображен стоящим у кровати своего сына и наследника. Наполеон выжимает сок из свеклы в кофе, а нянька вкладывает свеклу в рот ребенку и приговаривает: «Соси, миленький, соси! Отец твой говорит, что это сахар!»⁴

¹ Harris F. S. The beet-sugar in America. N. Y., 1919. Цит. по: В. М. Ландо. Эпоха возникновения свеклосахарной промышленности в Европе. К 125-летию существования свеклосахарной промышленности. Киев, 1928, с. 10.

² Schippel M. Zuckerprodukten und Zuckerprämiën bis zur Brüsseller Konvention 1902. Stuttgart, 1903, S. 52.

³ Charney F. Le sucre. Deuxième ed. refondue. P., 1965, p. 22.

⁴ Слоссон Э. Тростниковый и свекловичный сахар. Л., 1928, с. 4.



«Пищевая тематика» проникла в карикатуры на Наполеона, весьма распространенные в период его правления. Англичане нередко изображали Наполеона в качестве изящного «французского тигра», которому противостоял непобедимый гигант — «английский барашек». Интересно отметить, что прототипом «английского барашка» для этих карикатур служило реальное лицо — толстяк-гигант Даниэль Ламберт (1770—1809), работавший в 1791—1805 гг. сторожем тюрьмы в г. Лестере. В конце жизни он весил более 334 кг.

Любопытно, что и Наполеон III (1808—1873), который был племянником Наполеона и сыном его падчерицы, несколько не сомневался в том, что и он должен внести свою лепту в развитие свеклосахарной промышленности. Причем свое право говорить и писать о сахаре Напо-

леон III, нисколько не смущаясь, объясняет тем, что его бабушка Жозефина Богарне (первая жена Наполеона I) родилась на Английских островах, которые еще в ее времена прославились как производители сахарного тростника⁵.

Выдающийся советский историк Е. В. Тарле прямо указывал на роль Наполеона в развитии свеклосахарной промышленности. «Покровительство свеклосахарной промышленности,— писал Тарле,— являлось одним из существенных проявлений всей торговой и индустриальной политики Наполеона. Императорские прави-

тельство смотрело на эту отрасль производства как на один из краеугольных камней всей системы избавления континента от английской экономической супрематии. На возникновение и укрепление свеклосахарного производства был усвоен взгляд как на одно из исторических деяний Наполеона»⁶.

Проблема свекловичного сахара была чуть ли не главной темой бесед Наполеона с такими выдающимися учеными Франции, как астроном, математик и физик П. С. Лаплас (1749—1827) и химик, соратник А. Л. Лавуазье К. Л. Бертолле (1748—1822). Лаплас постоянно высказывал свое мнение о возможности производить «на европейской почве и при европейском климате совершенное сахарное вещество». Что касается Бертолле, то он немало потрудились «для смягчения острого недостатка некоторых важных продуктов... во Франции, вызванного блокадой». И тем не менее вряд ли проблемы произрастания свекловицы и производства свекловичного сахара, да и вообще вопросы как прикладной, так и теоретической науки, постоянно занимали Наполеона. Показательно, что одна из книг, в которой рассказывается о научных увлечениях Наполеона, и в частности о его интересе к вопросам производства сахара из свеклы, так и называется «Мелочи жизни Наполеона I».

⁵ Bonaparte Louis-Napoléon. Analyse de la Question des Sucres.— Oeuvres Napoléon III. P., 1856, t. 2, p. 165—168.

⁶ Тарле Е. В. Континентальная блокада. I. Исследование по истории промышленности и внешней торговли Франции в эпоху Наполеона. М., 1913, с. 597—598.

В номере использованы фотографии АЛЕКСЕЕВА Н. Н., ГИППЕНРЕЙТЕРА В. Е., ГРИЩЕНКО В. Д., МЕЛЬНИКОВА И. А., ШЕСТАКОВА Н. Ф., ТАСС, АП, ЮПИ.

Художник П. Г. АБЕЛИН
Художественные редакторы
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:
Т. Д. МИРЛИС, Э. А. ГЕОРГАДЗЕ

Адрес редакции:
117049, Москва, ГСП-1,
Мароновский пер., 26.
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 3.11.83.
Подписано к печати 6.12.83.
Т—22309
Формат 70×100 1/16
Офсет

Усл.-печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 1432,7 тыс.
Уч.-изд. л. 16,7
Бум. л. 4
Тираж 53 520 экз. Зак. 3082

Ордена Трудового Красного Знамени
Чеховский полиграфический
комбинат ВО «Союзполиграфпром»
Государственного комитета СССР
по делам издательств, 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

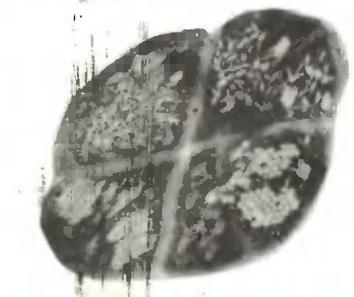
Проявлением «творческого автобиографизма» Д. И. Менделеева было стремление к сохранению и систематизации своего архива. Его изучение помогает понять многие особенности личности ученого, осуществившего ломку старых научных представлений и утвердившего новые.

«Периодическому закону — будущее не грозит разрушением...» К 150-летию Д. И. Менделеева.
Кедров Б. М. Великий химик-диалектик.
Добротин Р. Б. Музей Д. И. Менделеева при Ленинградском университете.



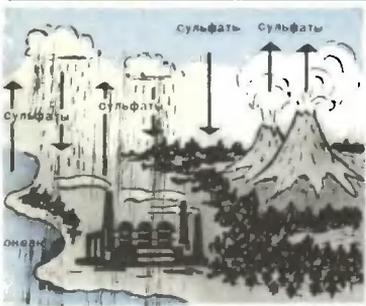
Назрела необходимость постепенного перехода от традиционного картирования к созданию объемных геологических моделей верхней части земной коры, а в перспективе — и всей литосферы.

Милановский Е. Е. Геологическая карта,



Обнаружение новой обширной группы микроорганизмов, занимающей по своим цитологическим, физиологическим и биохимическим свойствам промежуточное положение между двумя известными царствами прокариот и эукариот, можно с полным правом отнести к одному из важнейших открытий современного естествознания.

Дуда В. И. Архебактерии.



Промышленные выбросы соединений серы в окружающую среду опасны для всех живых организмов, населяющих земной шар. Уже сейчас нужны неотложные меры по борьбе с сернистыми загрязнениями в масштабе всей планеты.

Уждавини Э. Р., Мурзакаев Ф. Г. Сера в окружающей среде.



Сверхтекучесть — одно из выдающихся открытий в физике XX века — находит все более широкое применение в различных областях науки и техники. Помимо жидкого гелия, в природе существуют другие сверхтекучие жидкости. Сверхтекучесть нейтронной жидкости позволяет объяснить удивительные свойства вращающихся нейтронных звезд — пульсаров, моделирование которых с успехом удалось провести в лабораторных условиях.

Цакадзе Д. С. Сверхтекучесть в природе.

Цена 80 коп.
Индекс 70707

