

ISSN 0032-474X

5 ПРИРОДА

1981



Ежемесячный
популярный
естественнонаучный
журнал
Академии наук СССР

Основан в 1912 году



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик
Н. Г. БАСОВ

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТЮШКОВ

Доктор биологических наук
А. Г. БАННИКОВ

Академик
Д. К. БЕЛЯЕВ

Доктор биологических наук
А. Л. БЫЗОВ

Заместитель главного редактора
В. А. ГОНЧАРОВ

Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА

Академик
Б. М. КЕДРОВ

Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ

Член-корреспондент АН СССР
В. Л. КРЕТОВИЧ

Доктор философских наук
Н. Ф. ОВЧИННИКОВ

Заместитель главного редактора
В. М. ПОЛЫНИН

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

Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ

Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ

Член-корреспондент АН СССР
В. Е. ХАИН

Член-корреспондент АН СССР
Р. Б. ХЕСИН

Академик
В. А. ЭНГЕЛЬГАРТ

Доктор биологических наук
А. В. ЯБЛОКОВ



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

На первой и третьей страницах обложки: Синхрофазотрон и синхроциклотрон ОИЯИ. См. в номере: Объединенный институт ядерных исследований — прошлое и будущее (к 25-летию основания).

Фото Ю. А. Туманова.

На четвертой странице обложки. Ушастая сова на чердаке. См. в номере: Благодосклон К. Н. Птицы в городе.

Фото В. Н. Машатина.

В НОМЕРЕ

Объединенный институт ядерных исследований —
прошлое и будущее
К 25-летию основания 2

Мещеряков М. Г. С чего начиналась Дубна 24

Мишустин Е. Н., Черепков Н. И. Биологический
азот в природе и в сельском хозяйстве 28

Зорькин Л. М. Горючие газы подземных вод 36

Благосклонов К. Н. Птицы в городе 43

Цверева Г. К. К 150-летию открытия электромагнит-
ной индукции 53

Соловьев С. Л. Защита против цунами 54

Масевич А. Г., Тутуков А. В., Юнгельсон Л. Р.
Гравитационное излучение и эволюция карликовых двойных
звезд 68

Эмануэль Н. М. Старение и стабилизация полимеров 77

Левин А. Е. Научные сообщества 86

Федонкин М. А. Крупнейшее местонахождение до-
кембрийской фауны 94

Очев В. Г. Морские крокодилы в мезозое Поволжья 103

КРАСНАЯ
КНИГА

Колоденко А. И. Путорак 104

НОВОСТИ НАУКИ


105

КНИГИ, ЖУРНАЛЫ

Зельдович Я. Б., Сюняев Р. А. Замечательная
книга по астрофизике (123). **Плоткин С. Я.** Выдающийся химик-
органик (125). 123

НОВЫЕ КНИГИ

126



Четверть века назад в небольшом городке на берегу Волги по инициативе Советского правительства был создан международный научный центр, призванный объединить усилия физиков стран социалистического содружества в исследованиях по ядерной физике. Сейчас за плечами ученых Объединенного института ядерных исследований большой путь — путь от первых экспериментов в двух лабораториях, переданных безвозмездно Советским правительством создаваемому научному центру, до крупнейшего в мире научного комплекса, в котором более чем шестидесячный международный коллектив разрабатывает свыше ста научных тем.

Наш корреспондент И. Н. Арутюнян встретилась с видными учеными Дубны — руководителями различных подразделений ОИЯИ — и попросила их рассказать об истории создания института и его лабораторий, о научных исследованиях, которые были проведены за двадцать пять лет существования института, о международном сотрудничестве, осуществляемом ОИЯИ, и задачах, стоящих перед институтом в ближайшей пятилетке. На страницах журнала выступают директор Объединенного института ядерных исследований академик Н. Н. Боголюбов, вице-директора ОИЯИ/профессора М. Совински (ПНР) и И. Златев (НРБ), директор Лаборатории высоких энергий член-корреспондент АН СССР А. М. Балдин, директор Лаборатории ядерных проблем член-корреспондент АН СССР В. П. Джелепов, директор Лаборатории ядерных реакций академик Г. Н. Флеров, заместитель директора Лаборатории вычислительной техники и автоматизации член-корреспондент АН СССР Н. Н. Говорун, директор Лаборатории микрофизики академик И. М. Франк, начальник Отдела новых методов ускорения доктор физико-математических наук В. П. Саранцев, главный инженер ОИЯИ доктор технических наук Ю. Н. Денисов, главный ученый секретарь ОИЯИ доктор физико-математических наук А. Н. Сисакян.

О том, как возник сам город Дубна и какие научные лаборатории явились той базой, на которой образовался международный научный центр, рассказывает директор Лаборатории вычислительной техники и автоматизации член-корреспондент АН СССР М. Г. Мещеряков, под руководством которого с 1947 по 1949 г. сооружался первый советский синхротрон, ставший впоследствии базой установки ОИЯИ.

Редакция «Природы» благодарит всех, принявших участие в этой публикации.

Объединенный институт ядерных исследований — прошлое и будущее К 25-летию основания

Н. Н. Боголюбов,
академик,
директор
Объединенного
института
ядерных
исследований



26 марта 1956 г. в Москве было подписано соглашение об учреждении Объединенного института ядерных исследований. Правительство Советского Союза, выступившее инициатором создания ОИЯИ, передало в его ведение Институт ядерных проблем АН СССР, который располагал шестиметровым синхроциклотроном, и Электрофизическую лабораторию АН СССР, в которой заканчивалось сооружение синхрофазотрона — самого большого тогда ускорителя протонов.

Обращаясь к истории и целям создания Объединенного института, необходимо, прежде всего, вернуться к тому времени, когда был образован институт, к тем событиям, которые обусловили необходимость развития исследований в области ядерной физики.

За два года до образования ОИЯИ, в 1954 г., в СССР была введена в эксплуатацию первая в мире атомная электростанция, через год после этого в Женеве состоялась первая крупная конференция по мирному использованию атомной энергии, в развитых странах были созданы центры ядерных исследований (в частности, в 1954 г. в Женеве образовался Европейский центр ядерных исследований — ЦЕРН — и было начато строительство его базовой установки — протонного синхротрона).

Именно в этот период, когда началось практическое использование атомной энергии в мирных целях, и появилась необходимость сконцентрировать силы и средства социалистических стран для совместного решения задач, стоящих перед ядерной физикой.

Вскоре после подписания московского соглашения на I сессии Комитета полномочных представителей, в сентябре 1956 г., был принят Устав института, цели и задачи которого определялись его четвертой статьей:

«Обеспечение совместного проведения теоретических и экспериментальных исследований в области ядерной физики учеными государств — членов института; содействие развитию ядерной физики в государствах — членах института...; поддержание связи с заинтересованными национальными и международными научно-исследовательскими и другими организациями в деле развития ядерной физики и изыскания новых возможностей применения атомной энергии;

содействие всестороннему развитию творческих способностей научно-исследовательских кадров государств — членов института».

В Уставе четко сформулировано основное направление работы института: «Всей своей деятельностью... содействовать исследованию ядерной энергии только для мирных целей на благо человечества».

За этими словами стоят благородные задачи, которые вот уже на протяжении четверти века решаются интернациональным коллективом ОИЯИ для пользы всего человечества, стоит напряженный творческий труд ученых, инженеров, техников, рабочих и служащих из 11 социалистических стран — Болгарии, Венгрии, Вьетнама, ГДР, КНДР, Кубы, Монголии, Польши, Румынии, СССР и Чехословакии.

25 научных открытий, более 700 изобретений, около ста монографий и десятки тысяч научных статей — вот краткий статистический итог деятельности института за 25 лет существования. И все эти годы

для ОИЯИ оставалось характерным стремление к органическому сочетанию углубленного исследования фундаментальных проблем микромира с возможностью использования возникающих при этом результатов в прикладных целях.

Я не буду останавливаться на всех интересных научных результатах, полученных учеными ОИЯИ, — об этом можно написать целую книгу. Расскажу лишь о работах Лаборатории теоретической физики (ЛТФ), в которой я веду свои научные исследования. В настоящее время ЛТФ — это относительно небольшой, но чрезвычайно квалифицированный коллектив физиков-теоретиков, работающих практически во всех важнейших направлениях современной теории элементарных частиц, атомного ядра и конденсированных сред.

Если говорить о физике элементарных частиц, то у нас в лаборатории были заложены основы строгого подхода к квантовой теории поля, что, в частности, позволило доказать так называемые дисперсионные соотношения. Они явились тем фундаментом, на котором возникли многочисленные теории сильных взаимодействий: строгие ограничения на сечения, квази-потенциальный подход, дисперсионные правила сумм, принцип автомодельности в глубоконеупругих процессах, физика резонансных состояний. В ЛТФ выполнен большой цикл работ по изучению множественного рождения частиц: инклюзивных и эксклюзивных процессов с большими поперечными импульсами. Получила развитие квантовая хромодинамика, претендующая сейчас на роль будущей теории сильных взаимодействий. Предложен вариант квантовой электродинамики с фундаментальной длиной и даны предсказания для экспериментов по возможному обнаружению этой новой мировой постоянной.

Основные проблемы ядерной физики, разрабатываемые нашими теоретиками, — это исследование структуры сложных ядер и теория ядерных реакций. На основе математических методов теории сверхтекучести и сверхпроводимости была сформулирована полумикроскопическая (или сверхтекучая) модель ядра, которая открыла новое направление в современной теории ядра. Ученые выполнили интересные работы по теории взаимодействия пионов с ядрами...

Конечно, все сказанное лишь беглый набросок достижений наших теоретиков. Но могу с уверенностью сказать, что многие их работы явились двигателями наших представлений о микромире.

М. Совински (ПНР),

вице-директор
Объединенного
института
ядерных
исследований



Объединенный институт ядерных исследований — это, несомненно, яркий пример социалистической интеграции в науке. В основе всей деятельности института лежит широкое международное сотрудничество с научно-исследовательскими институтами, университетами и другими организациями различных стран и прежде всего стран-участниц ОИЯИ.

С первых лет существования ОИЯИ получила большое распространение так называемая физика на расстоянии. Обычно под этим подразумевается одновременная обработка экспериментального материала, полученного на уникальных установках в ОИЯИ и в национальных научных центрах. В страны направляются фотоэмульсии, облученные на различных ускорителях сотрудниками ОИЯИ, снимки с различных пучковых камер, магнитные записи результатов измерений с крупных электронно-физических установок. Это позволяет ученым тех стран, где нет больших ускорителей, участвовать в важных современных физических исследованиях, привлекать к работе сотрудников университетов, обучать студентов. Кроме того, в лаборатории разных стран для выполнения научных исследований поставляются отличающиеся большой изотопной чистотой уникальные радиоактивные препараты, полученные в Дубне.

Совместные работы ученых ОИЯИ и их коллег из стран-участниц ведутся практически по всей тематике института. На основе такого кооперирования проводятся теоретические и экспериментальные исследования, разрабатывается и изготавливается физическая и радиоэлектронная аппаратура, организуются совместные конференции, совещания, школы. Широкое сотрудничество, объединяющее усилия

специалистов всех стран-участниц, связано с созданием и развитием измерительно-вычислительного комплекса ОИЯИ. Так, совместная разработка системы программирования для ЭВМ БЭСМ-6, получившая название мониторинг системы «Дубна», используется во всех вычислительных центрах стран-участниц, использующих ЭВМ такого типа.

В результате развития Объединенного института ядерных исследований значительно повысился уровень фундаментальных исследований в области физики атомного ядра и элементарных частиц в социалистических странах. Возникло много новых ядерно-физических центров, институтов, лабораторий. Накопленный учеными и инженерами ОИЯИ опыт разработки и эксплуатации современных ускорителей позволил провести работы по оснащению ряда физических центров стран-участниц крупными экспериментальными установками. Так, специалисты ОИЯИ и Института ядерной физики (г. Ржеж, Чехословакия) создали изохронный циклотрон для ускорения протонов и легких ядер. В его разработке принимали участие также ученые и инженеры из Польши и Румынии. Другой ускоритель — двухметровый циклотрон для ускорения тяжелых ионов — создается специалистами ОИЯИ совместно с сотрудниками Варшавского университета и Института ядерных исследований (г. Сверк). Он предназначен для экспериментальных исследований в Варшавском научном центре. Институт оказал помощь СРВ, МНР, ГДР, СРР, ЧССР в постановке и развитии активационного анализа для нужд народного хозяйства.

Важным аспектом деятельности ОИЯИ является подготовка высококвалифицированных специалистов для стран-членов Института. За прошедшие годы в лабораториях ОИЯИ совместно с советскими учеными, инженерами, техниками и лаборантами трудилось более 4000 специалистов из других социалистических стран. Сотни из них подготовили и защитили кандидатские и докторские диссертации по актуальным вопросам ядерной физики и техники.

На современном этапе развития науки вопросы углубления научных и технических связей ОИЯИ с исследовательскими центрами стран-участниц приобретают все большее значение. Этот факт нашел свое отражение и в Генеральном плане развития ОИЯИ до 1990 г. и в новом пятилетнем плане института.

И. Златев (НРБ),
вице-директор
Объединенного
института
ядерных
исследований



Следует отметить еще один важный аспект международного сотрудничества, осуществляемого в ОИЯИ. Наш институт поддерживает широкие научные связи с физическими центрами ряда международных организаций и научными центрами стран, не являющихся членами ОИЯИ. В течение многих лет сотрудники института развивают научные контакты с коллегами из Европейского центра ядерных исследований (ЦЕРН, Швейцария), Международного теоретического центра в Триесте, Института им. Н. Бора в Копенгагене, итальянскими национальными центрами. В свою очередь, в опытах на синхротронном ОИЯИ участвовали физики из Турина и Фраскати. Успешно сотрудничают физики Дубны с учеными физических институтов Цюриха, Страсбурга, Орсе, Сакле, Гренобля, а также ряда научных центров ФРГ.

Большие успехи, достигнутые в области изучения закономерностей, существующих в микромире, стали возможны благодаря объединению усилий ученых многих ядерно-физических центров в постановке экспериментов на дорогостоящих и уникальных ускорительных установках. Это можно проиллюстрировать многими примерами из области физики высоких энергий. Так, один из первых экспериментов, выполненных в 1970—1971 гг. на серпуховском ускорителе, который в то время был самым мощным в мире, проводился совместно с учеными Европейского центра ядерных исследований. А в первом эксперименте на пущенном в 1972 г. крупнейшем в мире ускорителе протонов Национальной ускорительной лаборатории им. Э. Ферми (Батавия, США) участвовали ученые ОИЯИ и применялась аппаратура, разработанная и изготовленная в Дубне. В течение последующих лет в таком содружестве была выполнена большая программа совместных исследо-

Международное совещание по организации Объединенного института ядерных исследований. Москва, март 1956 г. Выступает главный ученый секретарь АН СССР академик А. В. Топчиев, который по поручению Советского правительства подписал соглашение об учреждении ОИЯИ. На этом совещании была избрана первая дирекция Объединенного института: директор — член-корреспондент АН СССР Д. И. Блохинцев, вице-директора — профессор В. Вотруба (ЧССР) и профессор М. Дашы (ПНР)

Фото А. С. Батанова.



Директор ОИЯИ академик Н. Н. Боголюбов и вице-президент АН СССР, ректор МГУ академик А. А. Логунов.

Член-корреспондент АН СССР В. П. Джелепов, член-корреспондент АН СССР Д. И. Блохинцев и гость ОИЯИ Н. Бор в Лаборатории ядерных проблем. 1961 г.

Фото П. И. Зольникова.

Академик Б. М. Понтекорво и американский физик Ц. Ву на Международном симпозиуме по структуре ядра. Дубна, 1968 г.



ваний — проведены шесть экспериментов.

Международное сотрудничество ученых-физиков взаимовыгодно и оказывает большое влияние на прогресс в области ядерно-физических исследований.

Нет сомнения, что 25-летний опыт работы Объединенного института является ярким примером плодотворного объединения усилий ученых разных стран для решения актуальных научных проблем на благо человечества.

В. П. Джелепов,
член-корреспондент
АН СССР,
директор
Лаборатории
ядерных проблем



Лаборатория ядерных проблем — одна из старейших лабораторий института. Она вошла в состав ОИЯИ, имея действующий ускоритель — синхроциклотрон на 680 МэВ. Эта установка — сердце лаборатории. С ней связаны наши лучшие работы, с ней связаны наши надежды. Когда-то, до создания так называемых мезонных фабрик, это был лучший в мире ускоритель протонов в области энергий до 1 ГэВ. Сейчас проводится кардинальная реконструкция синхроциклотрона, в первую очередь, для того чтобы повысить интенсивность выведенного пучка протонов в несколько десятков раз.

За 25 лет существования лаборатории сделано немало. Одних только открытий, зарегистрированных Государственным комитетом СССР по делам изобретений и открытий, в лаборатории 10. Поэтому, можете себе представить, как нелегко в короткой беседе рассказать даже только о самых значительных достижениях.

Невозможно, конечно, не вспомнить первый наш успех — ставшие уже классическими работы по упругому рассеянию поляризованных и неполяризованных нуклонов и рождению Λ -мезонов в соударениях нуклонов в области энергий, тогда еще плохо изученной, — от 300 до 660 МэВ.

На основании этих экспериментов была проверена справедливость основных законов симметрии ядерных сил в сильных взаимодействиях при высоких энергиях: их зарядовая симметрия и зарядовая независимость, Т-инвариантность.

Ряд важных открытий был сделан при исследовании взаимодействия нуклонов и мезонов с атомными ядрами. Это — резонансное поглощение мюонов, двойная перезарядка пионов, открытие более 100 новых радиоактивных изотопов и т. д.

Поистине выдающиеся результаты были получены в области слабых взаимодействий: открыт β -распад Λ -мезонов, выполнены прецизионные измерения времени жизни μ -мезона, что позволило в несколько раз увеличить точность определения константы Ферми слабых взаимодействий.

Со слабыми взаимодействиями связана деятельность академика Б. М. Понтекорво, который работает в Лаборатории ядерных проблем практически с самого ее основания. Им была обоснована возможность существования двух типов нейтрино — мюонного и электронного — и предложен эксперимент по обнаружению мюонного нейтрино на ускорителях высоких энергий. (Такие опыты были проведены в Брукхейвене и полностью подтвердили высказанное предположение.) Сейчас активно обсуждается вопрос о возможном нарушении лептонного заряда, наличии у нейтрино массы и связанными с этим осцилляциями нейтрино — переходе одного типа нейтрино в другой. Гипотезу о существовании таких осцилляций Б. М. Понтекорво высказал еще в 1957 г. Если они будут обнаружены, это приведет буквально к революции в таких областях науки, как космология, астрофизика и нейтринная астрономия.

Не имея возможности подробно останавливаться на многих других исследованиях, проведенных за 25 лет существования лаборатории в составе ОИЯИ, скажу лишь, что в нашем интернациональном коллективе родилось несколько новых научных направлений — это мезохимия (исследование электронной структуры вещества с помощью мезонов), получение сверхнизких температур в стационарном режиме путем растворения жидкого ${}^3\text{He}$ в жидком ${}^4\text{He}$, разработка сильноточных ускорителей с энергией до 1 ГэВ, принцип действия которых основан на использовании магнитных полей со спиральной структурой.

Из последних достижений лабора-

тории остановлюсь на уникальных по своей полноте исследованиях μ -мезоатомных процессов, и в особенности на изучении образования мезомолекул $dd\mu$ и $d\mu$ и мюонном катализе реакций синтеза двух ядер дейтерия или ядер дейтерия и трития. Это особенно интересно потому, что обнаруженная на опыте большая вероятность образования $d\mu$ -молекул приводит к катализу примерно 100 реакций синтеза за время жизни μ -мезона, которое составляет всего 2 мкс. А это обстоятельство делает работы по μ -катализу интересными не только для науки, но, возможно, и для практического применения в ядерной энергетике.

Если уж зашла речь об исследованиях, которые могут иметь прикладной характер, то в лаборатории ведутся также работы, связанные с использованием при лечении раковых заболеваний медицинских пучков протонов и отрицательных π -мезонов, созданных в лаборатории. Известно, что сейчас один из основных методов воздействия на раковые опухоли — это их облучение рентгеновскими, γ -лучами и электронами. Однако характер взаимодействия указанных типов излучений таков, что наряду с поражением опухоли происходит и значительное повреждение здоровых тканей вокруг нее. Избежать этого, мягко говоря, нежелательного эффекта можно, используя в лучевой терапии пучки тяжелых частиц — протонов, α -частиц, а также π -мезонов. Такие частицы при заданной энергии имеют строго определенную длину пробега в веществе, слабо рассеиваются в тканях, и линейная передача их энергии, в отличие от γ -лучей, возрастает по мере проникновения вглубь тела, что как раз и позволяет сильно поражать глубоко расположенные опухоли, нанося при этом минимальное повреждение окружающим их здоровым тканям. Работы по протонной терапии в Лаборатории ядерных проблем ведутся совместно с сотрудниками Онкологического научного центра АМН СССР. Кроме того, для таких исследований в лаборатории создан интенсивный экспериментальный пучок π -мезонов.

С вводом в строй в 1967 г. серпуховского ускорителя (протонного синхротрона на 76 ГэВ) для ученых всех стран социалистического содружества открылись новые возможности для экспериментов в ранее недоступной области энергий. Сейчас проведение и подготовка таких исследований — одно из главных направлений деятельности лаборатории. Для этого было построено несколько крупных ус-

тановок, в их числе магнитные спектрометры (с объемом магнитного поля до 11 м^3). Это чрезвычайно сложные приборы с большим количеством разнообразных детекторов (искровых, пропорциональных, дрейфовых камер, сцинтилляционных годоскопов из сотен счетчиков, снабженных соответствующей электронной аппаратурой, мощными ЭВМ). В числе первых ярких результатов, полученных совместно с физиками ИФВЭ, — открытие антитрития и установление того факта, что, вопреки теоретическим предсказаниям, поляризация частиц не исчезает при энергиях в десятки ГэВ и спиновые эффекты играют существенную роль и в этой области энергий.

В настоящее время на ряде экспериментальных установок физики лаборатории изучают кварковую структуру элементарных частиц, в том числе очарованных.

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что все исследовательские работы в лаборатории проводятся при участии физиков из стран социалистического содружества; обработка данных — в современной физике высоких энергий процесс чрезвычайно трудоемкий — выполняется не только в самой лаборатории, но и в институтах стран-участниц ОИЯИ.

А. М. Балдин,
член-корреспондент
АН СССР,
директор
Лаборатории
высоких энергий



Основу научной проблематики Лаборатории высоких энергий (ЛВЭ) составляет изучение физики сильных взаимодействий, структуры адронов и проблем релятивистской ядерной физики, а также исследование электромагнитной структуры адронов, поиск редких распадов частиц и новых резонансных состояний. Цель этих исследований — получение информации, существенно влияющей на формирование наших представлений о фундаментальных

взаимодействиях. Деятельность лаборатории основана на создании новых и развитии существующих базовых экспериментальных установок и экспериментальной аппаратуры универсального назначения, крупных детекторов и методик, позволяющих вести исследования на ускорителях Института физики высоких энергий (СССР), Национальной ускорительной лаборатории им. Ферми (Батавия, США), Европейского центра ядерных исследований (ЦЕРН, Швейцария) и синхрофазотроне ОИЯИ. Большой объем первичной экспериментальной информации, получаемой на физических установках лаборатории, позволяет организовывать крупные международные сотрудничества по обработке этой информации с целью извлечения научных результатов как непосредственно в ОИЯИ, так и в многочисленных институтах стран-участниц ОИЯИ. Необходимо подчеркнуть, что число физиков, которые ведут исследования, используя получаемую в ЛВЭ первичную информацию, примерно в 10 раз превышает число постоянно работающих в ЛВЭ физиков. В связи с этим многие научные результаты, полученные на основе деятельности ЛВЭ, отнюдь не всегда можно считать ее продукцией.

Среди результатов, которые в основном были получены сотрудниками ЛВЭ и которые сыграли определенную роль в физике, мне представляется необходимым отметить следующие:

обнаружение ряда новых свойств реакций упругого рассеяния. Целью этих работ была проверка следствий теорем и асимптотических соотношений, связывающих наблюдаемые явления с фундаментальными постулатами физики. Исследования были выполнены как на нашем синхрофазотроне, так и на серпуховском ускорителе и продолжены на ускорителе Национальной ускорительной лаборатории им. Э. Ферми. Полученные результаты имели большой резонанс. Наряду с большой научной значимостью они продемонстрировали высокий уровень наших экспериментов и явились первым опытом научно-технического сотрудничества крупного масштаба;

открытие новой частицы — антисигма минус-гиперона;

обнаружение прямого перехода фотона в векторный мезон (зарегистрировано в качестве открытия). Эти эксперименты были названы газетами и журналами тех времен «открытием ядерных свойств света». Они подтвердили важную теоретическую модель (так называемую векторную

доминантность) и сыграли в последующем большую роль в физике;

ускорение дейтронов, а затем и легких ядер до рекордных энергий на синхрофазотроне, что позволило поставить принципиально новые задачи о свойствах мультибарионных систем в области жестких столкновений, о поведении ядерной материи в экстремальных условиях и принципиально нового состояния адронной материи — кварковой плазмы. Эти исследования легли в основу нового научного направления — релятивистской ядерной физики. Впервые было обнаружено новое явление — кумулятивное рождение мезонов и установлена энергетическая граница, где начинают проявляться асимптотические свойства ядерных реакций. Эта граница соответствует энергии 3,5 ГэВ на один нуклон релятивистского ядра, что ставит синхрофазотрон в исключительное положение единственного ускорителя, обладающего пучками ядер с энергией, превышающей это значение;

открытие явления каналирования частиц в деформированных монокристаллах. Исследования выполнялись на нашем синхрофазотроне большим международным коллективом ученых.

Среди крупных методических открытий и изобретений отмечу:

создание нового типа ядерных мишеней, представляющих собой струю газа, которая пересекает вакуумную камеру ускорителя со сверхзвуковой скоростью. Именно это достижение ученых нашей лаборатории вызвало приглашение сделать первый эксперимент на ускорителе в Батавии;

разработку электронно-лучевого метода глубокой ионизации атомов (вплоть до получения «голых» ядер), получившего широкую международную известность.

Кроме того, существенный вклад сделан лабораторией в создание методов криогенной техники и современной стандартной электроники, в применение координатных детекторов в физике высоких энергий, особенно пропорциональных камер на линии с ЭВМ, в смежных областях науки и техники (биологии, медицине, кристаллографии, физико-химии и др.).

Специфика института как центра притяжения лучших научных сил стран-участниц ОИЯИ и целого ряда других стран, безусловно, очень плодотворно сказывается на его научной продукции.

Говоря же о научных традициях, необходимо отметить, что своим происхожде-

дением ЛВЭ обязана Физическому институту им. П. Н. Лебедева АН СССР (ФИАН), где были подготовлены ведущие специалисты лаборатории, заложены идейные, методические и технические основы физики высоких энергий, а в 1949—50 гг. разработано физическое обоснование главной базовой установки лаборатории — синхрофазотрона. Именно в ФИАНе в августе 1944 г. В. И. Векслер, впоследствии академик и первый директор лаборатории, открыл знаменитый принцип автофазировки — основу всех действующих, строящихся и проектируемых ускорителей, рассчитанных на высокие энергии. Свою научную деятельность в области космических лучей В. И. Векслер начинал под руководством Д. В. Скобельцына. Академик Д. В. Скобельцын, в момент образования ЛВЭ директор ФИАНа, несомненно, является одним из основоположников физики высоких энергий. Именно он впервые исследовал заряженные частицы высоких энергий в космических лучах, впервые применил трековые приборы, помещенные в магнитное поле, для регистрации частиц высоких энергий и впервые обнаружил ливни — множественные процессы, представляющие наиболее характерное для физики высоких энергий явление. Опыт исследований в области космических лучей, создание и эксплуатация в ФИАНе первых ускорителей, высокая культура научных исследований, имеющая глубокие корни в научно-техническом наследии России, легли в основу создания нашей лаборатории.

Очень большое влияние на формирование научных направлений лаборатории оказали физики-теоретики. Особенно много сделали академики Н. Н. Боголюбов, А. А. Логунов, М. А. Марков и созданные ими научные школы. Глубокие и оригинальные идеи дубненских теоретиков всегда служили мощными стимулами экспериментов в области физики высоких энергий. Директор ОИЯИ академик Н. Н. Боголюбов инициировал и активно поддерживал исследования лаборатории на других, в частности зарубежных, ускорителях, что позволяет лаборатории вести исследования при рекордных энергиях пучков.

Развитие релятивистской ядерной физики в нашей лаборатории во многом обязано достижениям физики многозарядных ионов лаборатории, руководимой академиком Г. Н. Флеровым. Это является отражением того факта, что существующие в ОИЯИ научные направления и школы хорошо дополняют друг друга.

Г. Н. Флеров,
академик,
директор
Лаборатории
ядерных реакций



Примерно к 1952 г., когда закончилась разработка научных и технических основ ядерной энергетики, встал вопрос: «Чем заниматься дальше?» После долгих обсуждений было решено остановиться на синтезе новых элементов. (В Советском Союзе в то время такие работы еще не проводились, а в США уже было открыто девять новых элементов.) Исследования были начаты в Москве, а через несколько лет по инициативе ОИЯИ и при поддержке И. В. Курчатова это направление было решено передать Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Так у нас в лаборатории стали заниматься синтезом новых элементов. Шли годы. Сотрудники международного коллектива лаборатории синтезировали и изучили шесть новых трансурановых элементов — элементов с атомным номером, большим 101. И каждый раз успеху предшествовали дни и месяцы напряженного труда, сомнений и разочарований.

Первые опыты по синтезу элемента 104. Мощными пучками ^{22}Ne облучается тяжелая плутониевая мишень. И сразу же обнаружен спонтанно делящийся продукт с периодом полураспада 14 мс. Экспериментаторы убеждены — наблюдается спонтанное деление 104-го. Контрольный опыт — уран бомбардируется неонам — и полное разочарование: опять появилась четырнадцатимиллисекундная активность, хотя при слиянии урана с неонам 104-й образоваться не может! Значит, наблюдаемый распад ядер не имеет отношения к синтезу нового элемента. Тогда с какими же удивительными атомами мы столкнулись и почему они делятся со столь малым периодом полураспада?

И вновь опыты. Из них следовало: наблюдавшееся деление — принципиально новый вид распада. Его изучение существенно углубило современные представ-



Среди известных ученых, посетивших Дубну, был Ф. Жолио-Кюри. 1958 г.

Фото П. И. Зольникова.

Обработка фильмовой информации с экспериментальных установок ОИЯИ на измерительном комплексе в г. Цойтене (ГДР).

Академик В. И. Векслер в Лаборатории высоких энергий за просмотром снимков, полученных с трековых камер. 1960 г.

Фото А. С. Батанова.

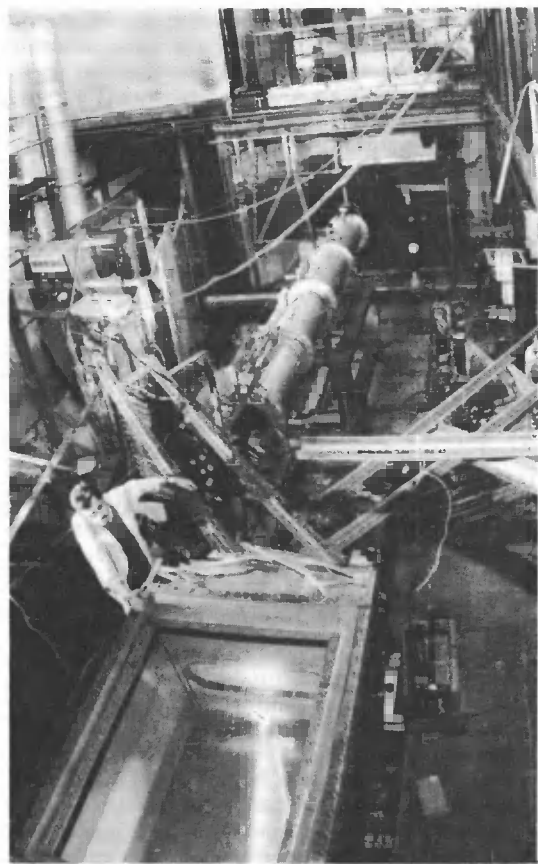
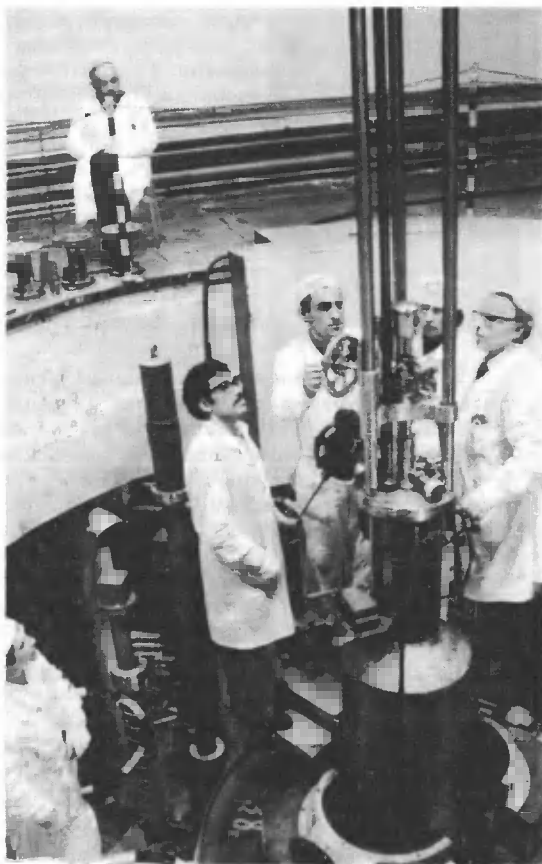


На с. 13.

В зале импульсного реактора ИБР-2. Идет загрузка первой кассеты с делящимся веществом. 1980 г.

Семинар в конференц-зале Лаборатории теоретической физики.

Релятивистская искровая стримерная камера РИСК, созданная в Лаборатории ядерных проблем для исследования адронных взаимодействий на протонном ускорителе ИФВЭ.



ления о механизме деления тяжелых ядер, но оказалось фоном, мешавшим «считать» ядра 104-го элемента.

Потребовался год тяжелой работы, чтобы избавиться от неожиданной помехи и надежно зарегистрировать «рождение» и «смерть» 104-го. Он был назван курчатовием. Это был первый элемент, идентифицированный по спонтанному делению его изотопов.

Элементы, о которых идет речь, были открыты на пучках «классического» циклотрона У-300, введенного в строй в 1961 г.

Если посмотреть на таблицу Менделеева, то за стабильными висмутом и свинцом следует плеяда радиоактивных элементов с весьма малым временем жизни (до минуты) — 84-й, 85-й элементы и т. д. Стабильность повышается почти на 10 порядков, начиная с тория и урана, а затем наступает спад (100-й, 101-й, 102-й живут минуты и менее). Будет ли за этим спадом новый подъем?

Теоретики в середине 60-х годов предсказали появление новой области стабильности элементов с атомным номером ~ 114 . Однако прогнозы дают широкую «вилку» возможного времени жизни сверхэлементов (от сотен миллионов лет до нескольких лет). Если время жизни самых стабильных сверхядер составляет сотни миллионов лет, то они должны были сохраниться в земных недрах со времени образования элементов Солнечной системы. В Лаборатории ядерных реакций создана уникальная аппаратура, способная регистрировать акты распадов тяжелых ядер, содержащихся в земных минералах в ничтожных концентрациях. Если время жизни достигает только миллионов лет, то земные сверхэлементы давно распались, однако возможность их детектирования существует. Синтез элементов Солнечной системы закончился примерно 5 млрд лет назад, но в космосе он протекает и сегодня, поэтому космические сверхядра бомбардируют Землю. Падение сверхтяжелого ядра — событие редкое, и наблюдать эти ядра можно лишь за пределами атмосферы. Наиболее подходят для этого естественные лаборатории-спутники: метеориты. Сотни миллионов лет вещество метеоритов облучается космическими частицами. Они оставляют следы (треки) в их веществе. И вот в оливинах метеорита «Марья-Лухти» удалось обнаружить два трека необычайно большой протяженности. По теоретическим расчетам такие «нарушения» структуры оливина могли

произвести только ядра, заряд которых больше 110.

Ядра сверхэлементов с временами жизни от несколько часов до секунд можно наблюдать, синтезируя их на пучках тяжелых ионов. Недавно в лаборатории построен новый мощный ускоритель тяжелых ионов — изохронный циклотрон У-400. У этого ускорителя, построенного своими руками — коллективами ЛЯР и Опытного производства ОИЯИ, — «ассортимент» ускоренных тяжелых ионов шире, а энергия значительно выше, чем у «старика» У-300.

У-400 наиболее эффективный ускоритель тяжелых ионов из десятков, существующих в мире. Выходящие из его «чрева» со скоростью, равной десятой доле скорости света, интенсивные пучки тяжелого ^{48}Ca , сливаясь с ядрами ^{244}Pu , должны стать ядром 114-го элемента, принадлежащего к предсказываемой теории области относительно стабильных сверхэлементов. Синтез сверхтяжелых элементов — главная задача нового ускорителя.

В процессе синтеза тяжелых элементов физики затрачивали на одно ядро с атомным номером $Z=104$ около 10^{15} тяжелых ионов. Редко встретишь процессы с таким мизерным КПД. Но есть применения пучков тяжелых ионов, в которых КПД достигает 100%. Это производство полиядерных микрофильтров; тяжелый ион, проходя сквозь лавсановую пленку, оставляет в ней невидимый след, который после физико-химической обработки превращается в микроскопическую пору с заранее заданными размерами. Такие фильтры сегодня необходимы для создания новых вакцин, эффективных лекарственных средств, высококачественных пищевых продуктов, новейшей электронной техники и многого другого.

Тяжелые ионы — прекрасное средство воздействия не только на лавсан, поликарбонат и другие полимеры. С их помощью открываются блистательные перспективы исследования полупроводниковых композиций, стойкости различных веществ к радиационному облучению. За ними будущее. Если же последовательно с циклотроном У-400 установить дополнительный ускорительный каскад, то на его выходе возникает сверхмощный пучок тяжелых ионов, на котором могут проводиться эксперименты по сжатию вещества до громадных давлений, синтез кристаллов, изучение свойств материи в предельных состояниях.

И. М. Франк,
академик,
директор
Лаборатории
нейтронной физики



Для развития физики 25 лет срок немалый. За это время, в частности, родился, окреп и возмужал большой коллектив Лаборатории нейтронной физики. Он прошел путь от первоначальных замыслов, через их свершения (а порой и неудачи) к новым еще более сложным и ответственным задачам.

В рамках короткого интервью трудно рассказать обо всем и поэтому придется остановиться лишь на самом существенном.

Вскоре после образования института, на майской сессии ученого совета 1957 года, меня попросили доложить о научной тематике для строившегося тогда в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ реактора ИБР — импульсного быстрого реактора (точнее было бы его называть импульсным реактором периодического действия). В последующем мне довелось ежегодно докладывать о планах работ ЛНФ и полученных результатах. Оглядываясь теперь назад, я вижу, что реальная действительность, как всегда, оказалась богаче и интереснее первоначальных предположений, хотя многое было предугадано правильно. Сравнительно быстро ЛНФ приобрела известность как один из мировых центров исследований в области нейтронной физики. В этом, конечно, существенное значение имела специфика ОИЯИ как крупнейшего международного центра социалистических стран. Другая особенность связана с теми базовыми установками, на которые опираются научные исследования лаборатории. Это реакторы типа ИБР и ИБР с инжектором. Здесь необходимо вспомнить имя члена-корреспондента АН СССР Д. И. Блохинцева — первого директора ОИЯИ. По его инициативе и под его научным руководством был построен первый реактор ИБР и образована Лаборатория нейтронной физики. Сотрудничество

с Д. И. Блохинцевым в области развития реакторной техники в ЛНФ продолжалось до последнего дня его жизни.

Первый реактор ИБР, введенный в действие в 1960 г., имел среднюю мощность всего 3 кВт, но в импульсе она была примерно 10 тыс. кВт (существенна именно импульсная мощность). Соединение этого реактора с инжектором — ускорителем электронов (микротроном) на 30 МэВ — продемонстрировало перспективность и универсальность этого нового типа источника нейтронов. Следующая модель реактора, ИБР-30, со средней мощностью в 25 кВт, оснащенного более мощным инжектором, ЛУЭ-40, была введена в действие в 1969—1970 гг. Она используется в исследованиях, выполняемых в ЛНФ, и до сих пор. Нет сомнения, что успех этих работ в известной мере стимулировал широкую программу строительства импульсных источников нейтронов в различных лабораториях мира.

Прогресс реакторов типа ИБР продолжается. В конце 1980 г. был осуществлен энергетический пуск реактора ИБР-2. Импульсная плотность нейтронов, которая будет достигнута после его освоения, в 10 раз превзойдет все имеющиеся на стационарных реакторах.

Говоря о развитии лаборатории, нельзя не отметить вклад выдающегося ученого в области нейтронной физики члена-корреспондента АН СССР Ф. Л. Шапи-ро. В течение примерно 15 лет до своей безвременной кончины в 1973 г. он руководил многими направлениями работ лаборатории. Так, например, в 1968 г. в ходе экспериментов на реакторе ИБР, проводившихся под его руководством, были получены ультрахолодные нейтроны. Эти нейтроны обладают необычным для элементарных частиц свойством, предсказанным академиком Я. Б. Зельдовичем, — они могут храниться в замкнутых сосудах в течение сотен секунд. Это обстоятельство очень ценно и для изучения свойств самого нейтрона и для ряда приложений. Сейчас развивается своеобразная оптика ультрахолодных нейтронов, что может в дальнейшем привести к созданию нейтроно-оптических приборов и, может быть, даже нейтронного микроскопа. Вообще, тематика работ лаборатории весьма обширна и простирается от физики элементарных частиц через ядерную физику к широкому кругу различных применений, особенно в физике конденсированных сред и молекулярной биологии.

Принципиально важным шагом явилась разработка в ЛНФ (1963—1965) метода получения пучков поляризованных резонансных нейтронов. Он известен теперь как классический метод пропускания нейтронов через поляризованную протонную мишень. Установки, аналогичные той, которая впервые была осуществлена в ЛНФ, работают теперь в ряде лабораторий мира. Исследования в области поляризационных эффектов в реакциях с нейтронами составляют уже довольно обширную главу нейтронной физики.

Новым направлением, возникшим в лаборатории, явилось и исследование сверхтонких взаимодействий в атомах, содержащих ядра в высоковозбужденных состояниях (так называемые нейтронные резонансы). Подобного рода работы пока являются монополией лаборатории. Получены важнейшие, ранее неизвестные данные о нейтронных резонансах, такие как их магнитные моменты и изменение радиуса ядра при высоком возбуждении. Эти работы по своему значению, мне кажется, находятся на уровне открытия.

Следует упомянуть и об изучении α -распада нейтронных резонансов, которое также было начато именно в ЛНФ и уже принесло обширную информацию о свойствах этой редкой ядерной реакции.

Реактор ИБР, построенный преимущественно для проведения ядерно-физических экспериментов, уже в первые годы своей работы оказался исключительно эффективным и для исследования конденсированных сред — тогда еще молодого направления в нейтронной физике. Международное сотрудничество, характерное для всех работ лаборатории, особенно широко развито в работах по изучению конденсированных сред и молекулярной биологии. В них участвуют много институтов ряда стран. Важнейшими достижениями здесь явились применение для структурных исследований дифракции нейтронов с использованием метода времени пролета и так называемого метода обратной геометрии, предназначенного для изучения динамики атомных и молекулярных процессов с помощью неупругого рассеяния нейтронов. Оба метода теперь применяются даже на стационарных реакторах, пучок которых искусственно прерывается.

Одним из новых направлений являются исследования по молекулярной биологии с помощью рассеяния нейтронов на малые углы. В отличие от исследований на немногочисленных установках, существую-

щих для этих целей на стационарных реакторах, здесь, применив метод времени пролета, удалось использовать весь тепловой спектр нейтронов, т. е. сильно повысить эффективность измерений. Полученные для ряда биологических объектов результаты тщательно анализируются совместно с биологами.

Ограничиваясь этим далеко не полным перечислением наиболее существенных достижений лаборатории, хочу отметить, что 25-летие ОИЯИ совпадает для ЛНФ с новым важнейшим этапом ее развития — освоением мощного импульсного реактора ИБР-2, о котором уже упоминалось. Он призван обеспечить проведение широкой программы экспериментов и позволит лаборатории выйти в ближайшие годы на новые, самые передовые рубежи нейтронных исследований.

Н. Н. Говорун,
член-корреспондент
АН СССР,
заместитель
директора
Лаборатории
вычислительной
техники
и автоматизации



Лаборатория вычислительной техники и автоматизации была создана в 1966 г. Она возникла не на пустом месте. Дело в том, что современные исследования по ядерной физике невозможны без использования ЭВМ: ученые имеют дело с объектами, которые движутся со скоростями близкими к скорости света, а живут чрезвычайно короткое время, и изучать такие объекты без развитой электронно-вычислительной аппаратуры просто невозможно. Поначалу вычислительные машины применялись в основном для теоретических расчетов, поэтому первые ЭВМ института были установлены в Лаборатории теоретической физики. Затем из нее выделился вычислительный центр, а когда перед ним встали уже более широкие задачи, нежели просто обработка информации и проведение научно-технических расчетов, была создана Лаборатория вычислительной тех-

ники и автоматизации. Ее директором стал член-корреспондент АН СССР М. Г. Мещеряков.

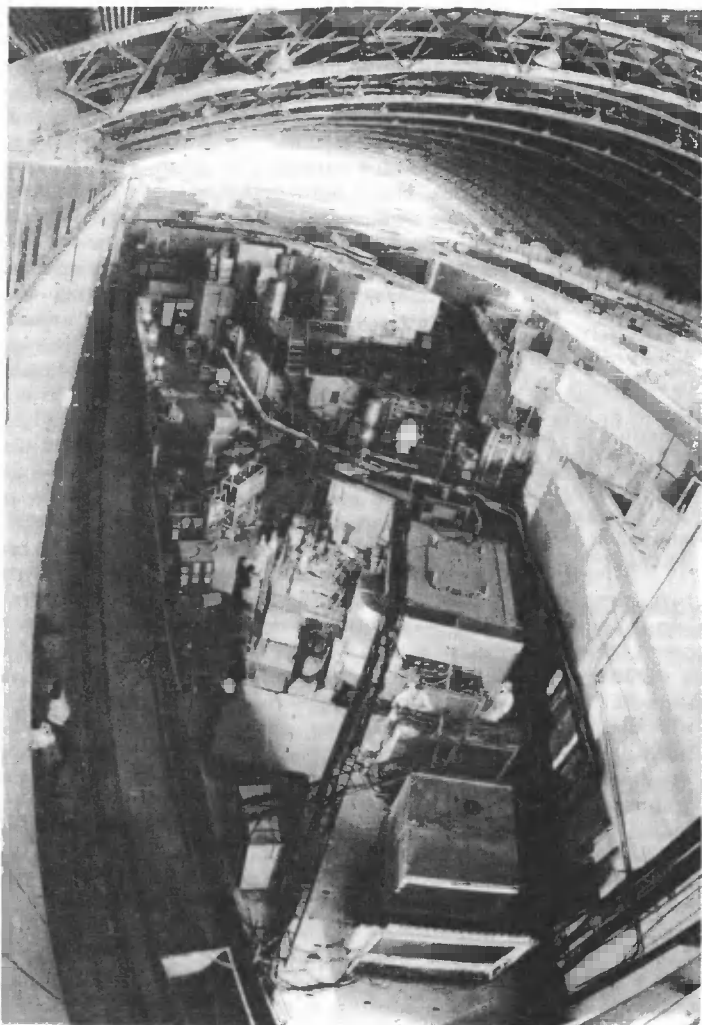
В самом названии лаборатории как бы определены две основные проблемы, на решение которых она была нацелена. Это, во-первых, обеспечение сотрудников ОИЯИ удобными средствами использования вычислительных мощностей для решения широкого спектра научно-технических задач, во-вторых, внедрение вычислительной техники в эксперименты. Вторая проблема имела два аспекта: необходимо было автоматизировать обработку снимков с трековых приборов (пузырьковых камер, магнитных искровых спектрометров и т. п.) и развить методы получения экспериментальных данных в цифровой форме так, чтобы при этом ЭВМ не только накапливала информацию, но и контролировала работу установки в ходе эксперимента.

Что же было сделано за 15 лет?

Прежде всего надо отметить создание мощного вычислительного комплекса ОИЯИ, основой которого являются электронно-вычислительные машины БЭСМ-6 и CDC-6500. Ученым ОИЯИ предоставлены разнообразные технические и программные средства для решения на ЭВМ широкого спектра задач. В составе комплекса терминалы (их около 40 штук), удаленные станции ввода — вывода информации, установленные на рабочих местах физиков и дающие возможность вести создание, отладку и счет программ на базовых ЭВМ лаборатории; дисплейные системы, позволяющие в графической форме выдавать результаты и вводить новые данные в ЭВМ. Главные ЭВМ комплекса связаны кабелями с машинами в измерительных центрах лабораторий института, что дает возможность их использования для обработки данных, в том числе в реальном времени проведения экспериментов. Машины комплекса оснащены большой памятью на магнитных дисках (~1100 кбайт), и в них можно хранить тексты индивидуальных программ и данные. Они имеют развитое математическое обеспечение: трансляторы с алгоритмических языков высокого уровня (ФОРТРАНА, КОБОЛА, АЛГОЛА, ЛИСП и т. д.) и автокода; богатую библиотеку программ, содержащую подпрограммы по всем разделам научных проблем, решаемых в ОИЯИ (в том числе и системы для проведения аналитических вычислений на ЭВМ); удобные средства отладки и редактирования программ; информационные системы и т. д.

Внедрение в ОИЯИ математического обеспечения, разработанного в ЛВТА, более чем в 10 раз подняло производительность труда специалистов, занятых разработкой и созданием программ, и позволило физикам решать на ЭВМ свои задачи без помощи профессиональных программистов. Надо еще отметить, что математическое обеспечение БЭСМ-6, созданное в нашей лаборатории (так называемая мониторинговая система «Дубна» и операционная система «Дубна»), нашло широкое применение во многих научных центрах стран-участниц. Мониторной системой сейчас оснащены все БЭСМ-6, выпускаемые промышленностью Советского Союза.

Вторая крупная проблема, решенная специалистами ЛВТА, — это создание мощного центра для массовой обработки снимков с трековых детекторов ОИЯИ. Физики-экспериментаторы получают за год на различных установках ОИЯИ сотни тысяч и более стереоскопических снимков. Обработать их «вручную» просто невозможно, поэтому в ЛВТА был разработан и создан ряд автоматизированных и автоматических измерительных систем и соответствующих систем программ, обеспечивающих все этапы обработки снимков. Просмотр снимков и отбор полезных событий осуществляется на специальных просмотровых столах (в ОИЯИ их около 30), часть которых работает на линии с мини-ЭВМ. На сканирующем автомате НРД (он установлен на линии с CDC-1604А), используя данные, полученные на стадии просмотра, в автоматическом режиме производится измерение координат частиц на снимках с водородных камер; снимки с искрового спектрометра обрабатываются в режиме автоматического опознавания, т. е. без предварительного просмотра и опознавания событий человеком. Автоматизированная измерительная система из 15 измерительных микроскопов и 6 просмотрно-измерительных столов, работающих на линии с БЭСМ-4, служит для исследования снимков с пропановой камеры и наиболее сложных событий с водородной камеры. Сканирующей автомат типа «спиральный измеритель» создан в ОИЯИ в коллаборации с рядом институтов. С помощью промышленных предприятий в СССР и в ГДР выпущена небольшая партия таких приборов, установленных в других ядерных центрах СССР (Алма-Ата, Тбилиси и др.) и ГДР (Цойтен и др.). Измерительная система АЭЛТ, созданная на базе электронно-лучевой трубки, обеспечивает автоматическое измерение



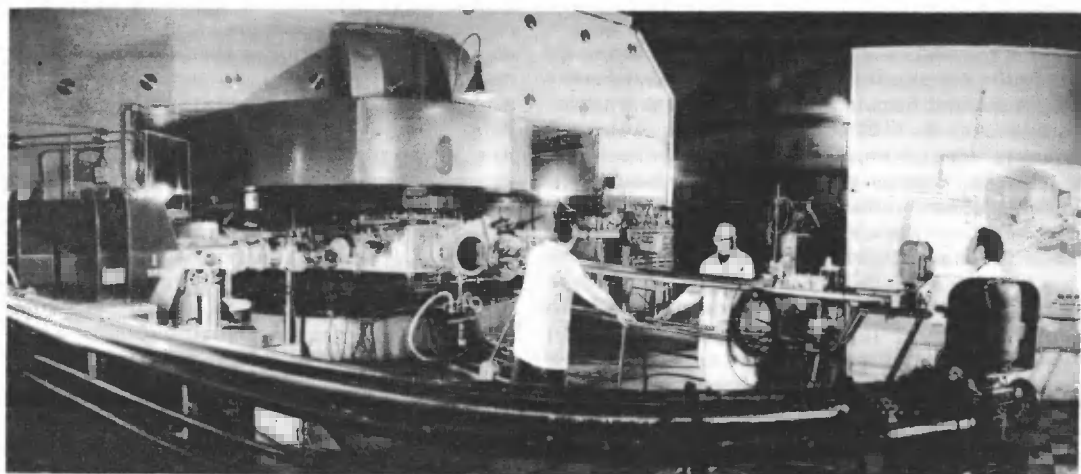
На с. 18.
Созданная в ОИЯИ установка
«Гиперон» в экспериментальном
зале протонного ускорителя
ИФВЭ (в в е р х у).

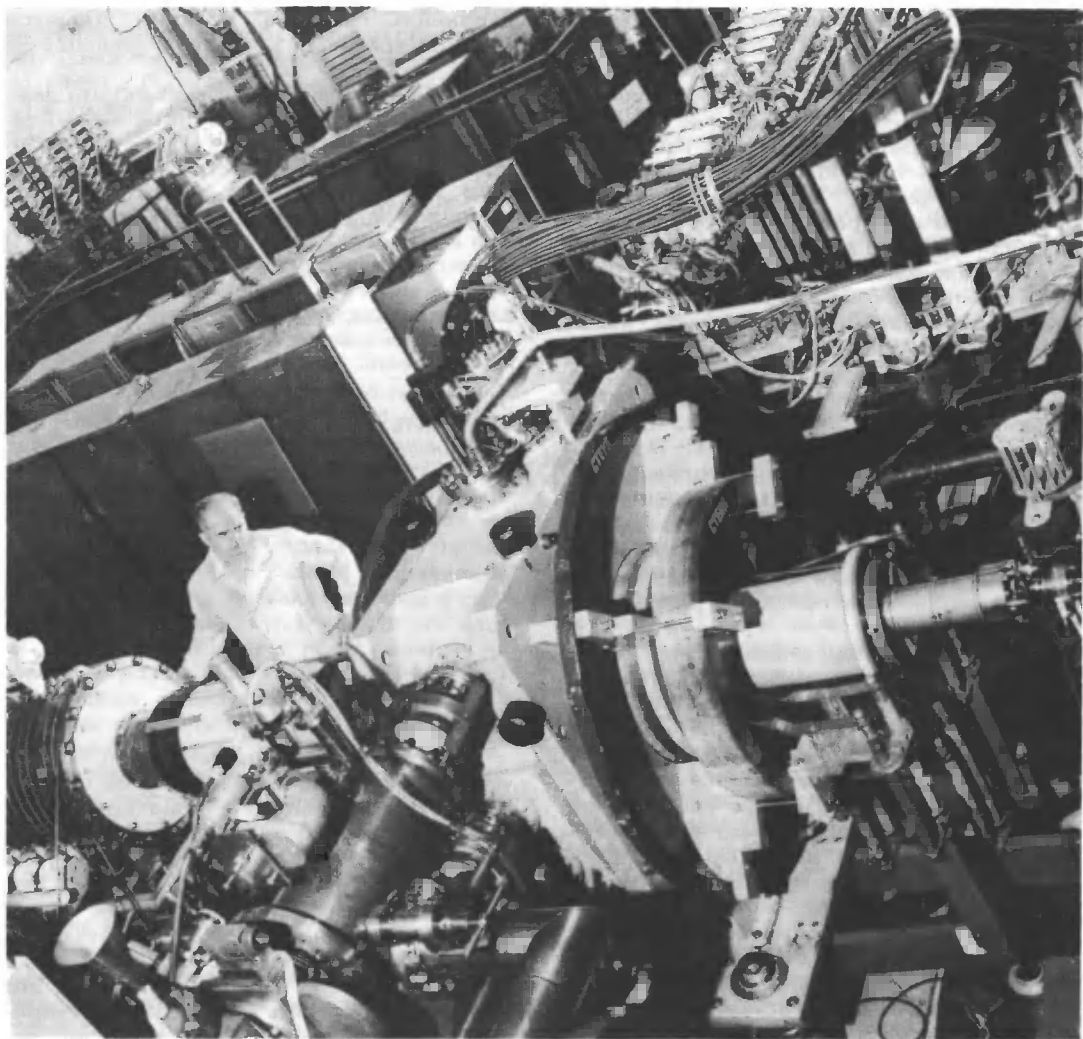
Ускоритель многозарядных ионов
У-300 Лаборатории ядерных ре-
акций (в в и з у).

На с. 19.

Прототип ускорителя тяжелых
ионов, основанный на коллек-
тивном принципе ускорения
(в в е р х у).

В зале БЭСМ-6 Лаборатории вы-
числительной техники и авто-
матизации (в в и з у).





на снимках с подключением человека в тех случаях, когда автомат (программы на БЭСМ-4 и CDC-6500) не может разобраться в ситуации. Получаемые с измерительных систем данные обрабатываются по сложной системе программ, созданной на основе модульной системы «Гидра». Для развития экспериментальной методики в ОИЯИ очень много дали работы ЛВТА по внедрению ЭВМ для управления экспериментальными установками. Необходимо было развить электронику ЭВМ: снабдить их специальными каналами и аппаратурой, необходимыми для включения ЭВМ в экспериментальную установку в качестве ее управляющей части. Для первых экспериментальных установок в ОИЯИ эта работа выполнялась специалистами ЛВТА. Математическое обеспечение многих наиболее сложных экспериментов и сейчас выполняется в ЛВТА. Созданы также развитые системы программ обработки спектрометрической информации и целый ряд пакетов специализированных программ различного назначения.

Кроме перечисленных выше трех главных направлений работ, в ЛВТА традиционно проводятся исследования по развитию математических методов решения физических задач. У нас были развиты численные методы и созданы системы программ решения нелинейных уравнений с использованием непрерывного аналога метода Ньютона. С их помощью были рассчитаны, в частности, уравнения по μ -каллизу. Развита методика минимизации нелинейных функционалов, выполнены исследования по изучению поведения устойчивых решений нелинейных уравнений (солитонов). Созданы математические модели поведения пучков в различных средах. В лаборатории занимаются также усовершенствованием метода расчета крупных физических установок (ускорителей, реакторов, каналов пучков). Группы физиков, работающие в ЛВТА, не только изучают возможности дальнейшей автоматизации эксперимента, но и совместно со специалистами других лабораторий на основе самой современной методики выполняют физические измерения. Так, физиками ЛВТА и ЛВЭ обнаружены очень коротко живущие состояния элементарных частиц, обладающие аномально большими спинами. В опытах по упругому рассеянию протонов высоких энергий на ядрах физиками ЛВТА установлено новое физическое явление — выбивание быстрых дейтронов, которые остаются нераспавшимися, хотя энергия связи у них много меньше энергии бомбар-

дирующих протонов. Изучены процессы высокой кратности рассеяния нуклонов на ядрах и т. д.

В заключение надо сказать, что важнейший результат работы ЛВТА — это создание коллектива высококвалифицированных специалистов, которые активно работают над дальнейшим решением проблем автоматизации научных исследований.

В. П. Саранцев,
доктор физико-математических наук,
начальник
Отдела
новых методов
ускорения



Бурное развитие физики и техники ускорителей заряженных частиц начала 50-х годов обязано открытию новых возможностей в получении частиц все более высоких энергий, в частности принципу автофазировки (В. И. Векслер, 1944 г.). Новые ускорители заставили и элемент новому увидеть саму природу элементарных частиц. Каждый раз казалось, что разгадка строения вещества уже совсем близка. Это и заставляло строить все большие ускорители. Цель оправдывала средства, и мы порой не замечали даже масштаба ускорительных установок — так велико было желание поставить все точки над «i» в наших представлениях о строении атомного ядра и его основных элементов. Однако, по мере того как размеры ускорителей росли и их строительство становилось все дороже и дороже, становилось ясно, что в физике ускорения нужны новые идеи. Так появилась «жесткая» фокусировка пучка, что позволило при той же энергии частиц уменьшить вес установок. Предложение вести исследования на встречных пучках ускоренных частиц позволяло «заглянуть» в процессы, протекающие при более высоких энергиях. Но все эти системы были скованы рамками автофазировки и техническими трудностями при формировании магнитных полей в больших объемах.

Именно в это время и появилась идея заставить работать собственные поля частиц. Сама по себе постановка вопроса в тот период была необычной. Собственные поля во всех случаях приводили только к усложнению процессов ускорения, к возникновению дополнительных неустойчивостей, и поэтому на первых порах приговор научной общественности был единодушен — нет пока конкретной схемы, в которой эти процессы могли быть использованы для ускорения частиц. И тогда в Дубне небольшая группа энтузиастов под руководством В. И. Векслера взялась такую схему разработать.

В 1969 г. из этой группы образовалось новое подразделение ОИЯИ — Отдел новых методов ускорения, которому и поручалось теоретически и экспериментально обосновать новый метод ускорения. Представители стран-участниц, собравшиеся на научный совет ОИЯИ, поддержали предложение дирекции, и новое направление получило свою базу. Несколько слов о схеме ускорения. Создается кольцо из вращающихся в магнитном поле релятивистских электронов. Чем выше плотность частиц в таком кольце, тем больше его способность ускорять другие частицы. Ионы вещества, которые требуется ускорить, вводятся внутрь кольца, где попадают под действие собственного электрического поля электронов и им ускоряются. Величина этого поля и определяет возможности метода. Предварительные разработки показали, что оно может достигать миллионов вольт на сантиметр. (И это по сравнению с десятками киловольт на сантиметр, имеющимися в ускорителях ионов с внешними полями!) Конечно, самой большой удачей в этой схеме было применение кольцевой формы сгустка частиц, которая позволила решать вопросы устойчивости движения частиц совершенно по-новому.

Первый период деятельности нового подразделения протекал весьма благоприятно. Схема нового ускорителя была одобрена на международных форумах ученых — специалистов по ускорительной технике. Ведущие центры мира приступили к ее реализации. Было ясно, что основная сложность заключается в получении плотных электронных колец. Правда, к тому времени в ОНМУ были проведены первые обнадеживающие эксперименты.

Появились различные модификации схемы ускорения. В физике ускорителей возникло целое направление — коллективные методы ускорения.

Что же касается непосредственно ускорения в электронных кольцах, то в середине 70-х годов определился период зстоя, вызванный прежде всего тем, что параметры этих колец, полученных в ведущих научных центрах мира, не удовлетворяли условиям, нужным для ускорения в них ионов. Теоретические исследования показывали, что существуют ограничения на получаемые при ускорении собственные поля частиц, т. е. при очень больших плотностях частиц вредные влияния собственных полей могут превышать их положительную роль. Но при каких? Чтобы добиться улучшения параметров колец, экспериментаторы направили свои усилия на поиски возможных проявлений неустойчивости в системе.

Именно в этот период, когда сама идея нового метода ускорения вновь подвергалась сомнению, в ОИЯИ создавалась новая установка — прототип коллективного ускорителя, на котором можно было экспериментально ответить на весь круг вопросов, возникших в связи с новым методом ускорения. На этом этапе в полной мере сказались те богатые научные и технические традиции, которые сформировались в ОИЯИ, зрелость научных коллективов стран-участниц, чью помощь мы постоянно ощущали. Установка должна была впитать в себя все самые последние достижения ускорительной науки. Из анализа многих опытов нужно было выбрать самые важные. Ошибиться в создании этой установки означало похоронить новый метод ускорения.

Последующие годы показали, что этот экзамеи коллектив ОНМУ выдержал с честью. Были получены кольца с полем в миллион вольт на сантиметр, а достигнутая эффективность ускорения в них оказалась примерно в 50 раз большей, чем в обычных системах для ускорения ионов. Полностью экспериментально подтвердилась возможность создания коллективного ускорителя. Сейчас отдел завершает проектирование новой установки, основанной на коллективном методе, которая органически вписывается в ускорительный комплекс тяжелых ионов, сооружение которого будет осуществляться в этой пятилетке. Сейчас можно без преувеличения сказать, что за последнее двадцатилетие идея коллективного ускорения частиц — одна из самых интересных в физике ускорителей. И пионерами этого метода на всех этапах его воплощения были ученые Объединенного института ядерных исследований.

Ю. Н. Денисов,
доктор
технических наук,
главный инженер



Пятилетним планом, принятым на только что прошедшем съезде партии, предусмотрено, в частности, развитие физики элементарных частиц и атомного ядра с целью познания строения материи.

Хорошо известно, что современные исследования в области ядерной физики невозможны без создания крупных и дорогостоящих физических установок. Даже для такого научного центра, как Объединенный институт ядерных исследований, не под силу иметь весь набор ускорительных установок, необходимый для проведения экспериментов по тем научным направлениям, которые ведутся в институте. В такой ситуации кооперация физических лабораторий в организации исследований становится естественной и неизбежной.

В последние годы в Дубне особенно интенсивно развиваются исследования по физике элементарных частиц, физике ядра и физике конденсированных сред, которые проводятся с помощью пучков тяжелых ионов, ускоряемых на синхрофазотроне и изохронных циклотронах, а также с применением нейтронов, получаемых от импульсного реактора на быстрых нейтронах в Лаборатории нейтронной физики. С учетом этой реально сложившейся направленности исследований генеральным планом развития ОИЯИ на период до 1990 г. предусматривается дальнейшее совершенствование ускорителей тяжелых ионов и импульсных реакторов института.

В начале 11 пятилетки усилия будут направлены на освоение основных установок, которые создавались в последние годы. Это — изохронный циклотрон с полюсными наконечниками диаметром в четыре метра (У-400), импульсный реактор на быстрых нейтронах (ИБР-2) и линейный ускоритель электронов, пучок которого планируется инжектировать в реактор для получения коротких интенсивных импульсных

потоков нейтронов. Освоение этих установок создаст благоприятные условия для исследований по ядерной физике при низких и средних энергиях.

Кроме того, в этой же пятилетке намечено начать сооружение новой крупной установки — ускорительного комплекса тяжелых ионов (УКТИ), предназначенного для ускорения до энергий в несколько ГэВ всех типов ионов вплоть до урана. Создание этого комплекса будет проводиться объединенными усилиями ОИЯИ и Института атомной энергии им. И. В. Курчатова.

Ускорительный комплекс будет представлять собой цепочку из трех соединенных последовательно ускорителей. Первый каскад — это линейный ускоритель, в котором ионы должны ускоряться до энергии 10 МэВ на каждый нуклон ядра. В перспективе в этом каскаде предполагается применить ускоритель тяжелых ионов, работающий на основе так называемого коллективного принципа ускорения.

Второй каскад представляет собой синхротрон для ускорения тяжелых ионов до энергии 250—600 МэВ на нуклон. Выведенный из него пучок можно будет либо транспортировать к экспериментальным физическим установкам, либо инжектировать в следующую ступень ускорения — синхрофазотрон ОИЯИ, в будущем универсальный прибор, способный ускорять все ионы от протона до урана. В синхрофазотроне они будут ускоряться до 3—4 ГэВ на нуклон. На выведенных из синхрофазотрона пучках ионов с такими рекордными в настоящее время энергиями можно будет вести исследования широкого спектра физических явлений.

Таким образом, основным направлением развития экспериментальной базы Дубны в предстоящем десятилетии явится создание установок для исследований в области физики ядра и конденсированных сред с помощью ускоренных тяжелых ионов и нейтронных пучков.

Эксперименты по физике элементарных частиц при средних энергиях, как и прежде, будут проводиться на синхроциклотроне ОИЯИ, переживающем в настоящее время, после капитальной реконструкции, свое второе рождение. Синхроциклотрон, на котором протоны ускоряются до энергий 600 МэВ, — основной источник мюонов различных энергий. В предстоящие годы на этой базовой установке будут продолжены эксперименты как в области физики элементарных частиц, так и по физике ядра и конденсированных сред.

А. Н. Сисакия,
доктор физико-математических наук,
главный
ученый секретарь



Необходимость проведения ядерно-физических исследований на самом высоком мировом уровне требует создания не только базовых, но и сложных экспериментальных установок как для экспериментов в самом институте, так и в других крупных научных центрах. Например, сейчас специалисты из ОИЯИ совместно с учеными из Италии, Франции, ФРГ участвуют в так называемом мюонном эксперименте, который ведется на суперсинхротроне ЦЕРНа. Для этого эксперимента был создан тороидальный спектрометр — сложная экспериментальная установка, сделать которую не по силам одной даже крупной лаборатории. Работа была разделена поровну. В Дубне для этого спектрометра был изготовлен сердечник электромагнита весом более 1600 т и более 80 прецизионных пропорциональных камер для детектирования частиц. В результате такого кооперирования установка была сооружена в кратчайшие сроки — за три года.

Неоценимую роль в успехах, которых добился коллектив ОИЯИ, играет сотрудничество с научными центрами стран-участниц, и в особенности Советского Союза. В соответствии со специальным соглашением мы можем использовать экспериментальную базу научных центров СССР. Так, нашему институту предоставлена возможность выполнять разнообразные эксперименты на протонном синхротроне Института физики высоких энергий в Протвино. Ученые Дубны используют примерно 1/3 времени работы этого уникального ускорителя. Для проведения исследований на нем, в частности, была создана в минувшей пятилетке одна из крупнейших экспериментальных установок ОИЯИ — релятивистская ионизационная стримерная камера (РИСК). Этот чрезвычайно сложный и чуткий прибор предназначен для изучения множественного рождения частиц,

процессов с большими переданными импульсами. Недавно введена в действие первая очередь спектрометрического комплекса «Гиперон», созданного для исследования кварковой структуры адронов и обнаружения новых частиц. В разработке этих установок участвовал большой коллектив ученых, инженеров и рабочих Объединенного института, научных центров Болгарии, Венгрии, ГДР, Польши, СССР и ЧССР.

На базе ИФВЭ будет сооружаться ускорительно-накопительный комплекс (УНК), возможности которого значительно превысят те, которыми располагают крупнейшие ускорители мира. Протоны в нем будут ускоряться до энергий 3 ТэВ ($3 \cdot 10^{12}$ эВ). В разработках некоторых систем УНК активно участвуют ученые Дубны. Кроме того, научные коллективы института уже приступили к разработке таких экспериментальных установок, которые по своим характеристикам будут соответствовать тем возможностям, которые предоставит новый ускоритель для экспериментов по физике сверхвысоких энергий.

Даже это небольшое количество примеров отражает тот факт, что в современных ядерно-физических исследованиях не обойтись без интеграции усилий. Недаром в одном из своих выступлений директор Объединенного института академик Николай Николаевич Боголюбов подчеркнул: «Нужно стремиться к долгосрочному комплексному планированию ядерно-физических исследований в рамках социалистического содружества с тем, чтобы добиться более эффективного сложения как интеллектуальных, так и материально-технических ресурсов. Объединенный институт призван в связи с этой задачей сыграть координирующую роль».

С чего начиналась Дубна

М. Г. Мещеряков



Михаил Григорьевич Мещеряков, член-корреспондент АН СССР, директор Лаборатории вычислительной техники и автоматизации Объединенного института ядерных исследований, профессор Московского университета. Основные работы — в области физики атомного ядра и элементарных частиц. В настоящее время занимается вопросами автоматизации научных исследований. Лауреат Государственных премий СССР.

Со второй половины 1944 г., когда все зримей разгоралась заря долгожданной победы, в кругах советских ученых, занятых исследованиями в области ядерной физики, началось обсуждение программы строительства в нашей стране ускорителей частиц. Несколько совещаний по этому вопросу прошло под руководством академика И. В. Курчатова в организованной им Лаборатории № 2 АН СССР, впоследствии ставшей Институтом атомной энергии им. И. В. Курчатова. В этих совещаниях принимали участие А. И. Алиханов, В. И. Векслер, И. Е. Тамм. Из Ленинграда на совещания приглашались заместитель директора Радиового института АН СССР Б. А. Никитин, известный конструктор первых советских циклотронов Д. В. Ефремов и автор этих строк, руководивший тогда циклотронной лабораторией в Радиовом институте АН СССР. В результате довольно оживленных дискуссий все сошлось на том, что если для развития ядерной физики достаточно построить несколько обычных циклотронов, то для обеспечения просматривавшихся тогда направлений фундаментальных физических исследований необходимо соорудить в Советском Союзе два ускорителя на рекордные по тем временам энергии: протонный синхроциклотрон на энергию 450—500 МэВ с возможностью последующего увеличения энергии

до 650—700 МэВ и электронный синхротрон на энергию не менее 250 МэВ. Тогда уже была осознана возможность создания таких ускорителей на основе принципа автофазировки, незадолго до этого предложенного в Советском Союзе В. И. Векслером и несколько позже в США Э. Мак-Милланом. Решение о строительстве большого синхроциклотрона в районе поселка Большая Волга было принято Советским правительством в августе 1946 г.

В феврале 1947 г. я был назначен научным руководителем разработок синхроциклотрона, которые решено было сконцентрировать в Лаборатории № 2 АН СССР, для чего в ней был организован специальный ускорительный отдел, призванный в кратчайший срок создать действующую модель будущего синхроциклотрона и проверить на ней все существенные особенности синхроциклотронного метода ускорения протонов. С самого начала предполагалось, что после завершения исследований модели нового ускорителя этот отдел переедет на место строительства синхроциклотрона и станет ядром будущего научного центра. Сразу же встал вопрос о комплектовании штата этого отдела физиками, которые после окончания строительства синхроциклотрона переселились бы на берега Волги и целиком посвятили бы себя исследованиям

на синхроциклотроне с рекордными параметрами. Нельзя сказать, чтобы подобная перспектива соблазнила многих, особенно москвичей, но тем не менее все же нашлись энтузиасты, горевшие желанием специализироваться в области физики высоких энергий. Из новых сотрудников ускорительного отдела была организована группа, которой было поручено в порядке подготовки к будущим экспериментам на синхроциклотроне заняться изучением на имевшемся в Лаборатории № 2 1,5-метровом циклотроне механизма (d, p) и (α, p) реакций при энергиях дейтронов и α -частиц, равных, соответственно, 15,4 и 26,4 МэВ, что в то время представляло бесспорный интерес. Эти эксперименты проводились в 1948 и 1949 гг. и, предпринятые вначале скорее с целью тренажа научного персонала, впоследствии вылились в обширное исследование, давшее новые результаты, не потерявшие своего значения и до настоящего времени. Среди них следует отметить обнаружение нового по тому времени явления — захвата нейтронов в реакции (d, p) на глубоколежащие уровни и наблюдение испускания подбарьерных протонов в реакции (α, p) на ядрах меди и серебра с вероятностью много большей, чем следовало из обычных представлений.

Моя первая поездка на место, отведенное для строительства ускорителя, состоялась 27 марта 1947 г. Была ранняя весна с туманами и желтыми, ноздреватыми сугробами снега. Железной дорогой нельзя было воспользоваться: во время войны с ветки Вербилки — Большая Волга местами были сняты рельсы — они пошли в переплавку — в войну не хватало металла для снарядов¹. Пришлось добираться на джипе военных лет: два часа ушло на то, чтобы по сильно разбитому шоссе доехать до Дмитрова, а затем еще около четырех часов тащились по дороге, местами устланной круглыми бревнами, до поселка Б. Волга, откуда гусеничный трактор за каких-нибудь два часа приволок джип до места, отведенного для строительства синхроциклотрона и научного городка.

Кругом был сырой, без каких-либо просветов лес. Несколько десятков рабочих прокладывали просеки для дорог и торопились до вскрытия Волги соорудить деревянный причал. Группа геодезистов

производила трассировку улиц будущего научного городка и железнодорожной ветки от станции Б. Волга до технической площадки ускорителя.

В мой первый приезд на строительство нужно было прежде всего выбрать оптимальное расположение на площадке технологических корпусов ускорителя. Нетрудно было убедиться в сильной заболоченности всей территории, отведенной под строительство, и особенно того участка, на котором проектировщики наметили разместить корпус ускорителя. Пришлось вмешаться и потребовать перенесения места строительства технологических корпусов ускорителя в сторону невысокой песчаной гряды, на которой много позже встал корпус Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований.

Была еще одна причина поездки на строительство. И ускоритель и научный городок при нем было решено построить вдали от крупных населенных пунктов. С самого начала было ясно, что научный и инженерный персонал будет прислан извне. Но откуда придется набирать обслуживающий персонал самого ускорителя, работников котельной, бани, пекарни, магазинов, почты, без которых была бы невозможна нормальная жизнь научного городка? К счастью, рядом со строительством оказалась небольшая деревушка, что-то около пятидесяти дворов, и почти в каждом из них горе: с войны не вернулся один, а то и два человека. Эта деревня отстроилась на своем месте всего каких-нибудь 12 лет тому назад и получила название Ново-Иваньково, а ранее она называлась просто Иваньково и до 1934 г. стояла там, где сейчас расположен шлюз, соединяющий Московское море с Волгой.

Помнится радость жителей Ново-Иваньково, узнавших, что им найдется работа в научном городке, строительство которого начиналось по соседству с их деревней. Впоследствии многие жители деревни, освоив новые специальности, стали работать на ускорителе и в научном городке. Их дети и внуки и теперь трудятся в Объединенном институте.

Весной 1947 г. развернулись проектные и изыскательные работы в организациях, привлеченных к разработкам синхроциклотрона. В конструкторском бюро, руководимом Д. В. Ефремовым, велось проектирование электромагнита весом 7000 т и вакуумной камеры ускорителя. В Радиотехнической лаборатории АН СССР, руководимой А. Л. Минцем, производи-

¹ Эта железнодорожная ветка к лету 1947 г. была восстановлена в связи с началом строительства большого ускорителя.

лось проектирование, а затем и изготовление радиотехнических устройств ускорителя. В Харьковском физико-техническом институте под руководством К. Д. Синельникова конструировались высокопроизводительные вакуумные насосы для откачки камеры синхротронного ускорителя. Все эти разработки проводились исключительно быстрыми темпами. Они положили начало развитию в Советском Союзе новых областей техники, сыгравших впоследствии важную роль при сооружении в нашей стране еще более мощных ускорителей и термоядерных установок. Осенью 1947 г. уже был утвержден технический проект синхротронного ускорителя в пятиметровом варианте. Тогда же был установлен и срок его запуска — середина декабря 1949 г.: перед разработчиками и строителями синхротронного ускорителя была поставлена задача — как можно скорее начать проведение исследований в области физики высоких энергий на больших ускорителях, которые в то время велись только в США.

С лета 1947 г. по мере поступления проектной документации широким фронтом развертывалось строительство: проводились дренажные работы, прокладывались дороги и железнодорожная ветка от станции Б. Волга до технической площадки, бурились артезианские скважины, закладывались технологические корпуса, котельная, административный корпус, первые жилые дома.

В декабре 1947 г. была пущена в действие модель синхротронного ускорителя, а к лету 1948 г. на ней были завершены все необходимые исследовательские работы.

Тем временем на место строительства начало поступать с заводов технологическое оборудование, которое зачастую с колес монтировалось в еще не до конца возведенных корпусах.

Летом 1948 г. в связи с форсированием строительства ускорителя было решено приступить к созданию его базы специальной научной лаборатории, впоследствии ставшей Институтом ядерных проблем АН СССР. Первыми в штат создаваемой на объекте научной лаборатории были включены сотрудники ускорительного отдела Лаборатории № 2 АН СССР. Персонал служб эксплуатации ускорителя укомплектовывался инженерами и техниками, направленными по путевкам из других организаций.

В первую половину 1949 г. сооружение ускорителя и строительство научного городка велось все более ускоряющимися темпами. На смену бетонщикам приходи-

ли монтажники и наладчики технологического оборудования, непрерывным потоком поступающего с заводов. Работы велись в две, а иногда и в три смены. Между собой соревновались десятки бригад. Осенью уже можно было приступить к опробованию отдельных агрегатов и устройств ускорителя.

Комплексный запуск синхротронного ускорителя состоялся в ночь с 13 на 14 декабря 1949 г. Сначала на нем были получены дейтроны и α -частицы с энергиями, соответственно, 280 и 560 МэВ, а вскоре и протоны с энергией 480 МэВ. Позже диаметр полюсов магнита ускорителя был увеличен до шести метров, что позволило ускорять протоны до энергии 680 МэВ.

Научные интересы коллектива физиков лаборатории после запуска синхротронного ускорителя были сосредоточены преимущественно в области исследований нуклон-нуклонных взаимодействий выше порога образования пионов. Среди работ этого цикла, получивших широкую известность, следует, прежде всего, выделить открытие в первых же экспериментальных резонансного характера реакции $p + p \rightarrow d + \pi^+$. Детальное изучение упругого рассеяния протонов и нейтронов на протонах и поляризационных эффектов в этих процессах позволило провести фазовый анализ нуклон-нуклонного рассеяния в ранее неисследованной области энергий. Результаты этих исследований, неоднократно тщательно анализировавшиеся как у нас, так и за рубежом, явились основой для формулировки однобозонной обменной модели ядерных сил. После формирования на синхротронном ускорителе интенсивных пучков пионов физиками лаборатории были также изучены процессы пион-нуклонного рассеяния в ранее недоступной области энергий.

Итоги исследований первых лет на синхротронном ускорителе были столь значительными, что по предложению И. В. Курчатова автору этих строк была предоставлена возможность выступить в 1955 г. с докладом о результатах этих исследований на сессии Академии наук СССР по мирному использованию атомной энергии.

Незабываемой, по-своему романтической, была атмосфера первых лет научных исследований на синхротронном ускорителе, занимавшем тогда первое место по энергии ускоренных частиц. Сказывались и молодость научного коллектива лаборатории, и необычный простор для выбора новых направлений экспериментальных исследований. С точки зрения нынешней деятельности регламентации научных работ с

ее «потемным» финансированием и утверждением тематики научными советами различных уровней, сама организация исследований на ускорителе в первые годы может показаться невероятно упрощенной. Тогда составлялся в самом общем виде только годовой проблемный план — он всегда утверждался единолично И. В. Курчатовым без каких-либо задержек — и, что самое удивительное, этого было достаточно, чтобы все получалось, как надо. Большое значение в выработке мнений по научным вопросам имели дискуссии на регулярно проводившемся в лаборатории семинаре, в работах которого участвовали И. Я. Померанчук, Я. А. Смородинский, Я. П. Терлецкий и другие известные физики. Примерно раз в год лабораторию посещал И. Е. Тамм. В 1952 г. два дня провел в лаборатории и детально ознакомился с постановкой экспериментов на синхроциклотроне И. В. Курчатова. Большое влияние на формирование облика молодого научного коллектива оказал В. А. Фок, работавший в лаборатории в 1951—1952 гг. над своей книгой «Теория пространства, времени и тяготения». Положительную роль сыграло и то, что в исследованиях на синхроциклотроне с момента его запуска участвовали группы физиков и радиохимиков из нескольких московских и ленинградских институтов Академии наук СССР.

Первое время жизнь в научном городке, как и во всей стране в послевоенные годы, была суровой — кухонные печи топилась дровами, в домах отсутствовала горячая вода, тротуары и улицы были покрыты укатанной щебенкой, невелик был ассортимент продуктовых товаров, но зато обильными были уловы рыбы в Волге. Это уж много позже появились стадион, плавательный бассейн, постоянные ретрансляции телевизионных передач, дом культуры «Мир» (заложен в марте 1953 г.), асфальт на тротуарах и улицах, регулярное пассажирское сообщение с Москвой.

Дальнейший рост городка был вызван возникновением в 1951 г. рядом с Институтом ядерных проблем АН СССР другой научной организации — Электрофизической лаборатории АН СССР и началом строительства под руководством В. И. Векслера протонного синхрофазотрона на 10 ГэВ. Городок застраивался преимущественно по течению Волги и в конце концов нацело поглотил деревню Ново-Иваньково.

В 1956 г. на базе Института ядерных проблем и Электрофизической лаборато-

рии был создан международный научный центр — Объединенный институт ядерных исследований, в котором плодотворно трудится вот уже второе поколение ученых ряда социалистических стран. Осенью того же года научный городок вместе с рабочими поселками района Б. Волги был преобразован в город, получивший название Дубна.

Запуск в конце 1949 г. на болотистом берегу верхней Волги большого синхроциклотрона явился отсчетной точкой возникновения в нашей стране новой области науки — физики частиц высоких энергий. Многое с тех пор изменилось. Поразительно изменился сам характер исследований на этом ускорителе. Рядом с ним возник крупнейший международный исследовательский центр. Вдоль Волги руками советских людей воздвигнут прекраснейший город. И даже Волга за это время заметно переместилась вправо, подмыв в районе городского парка берег, на краю которого еще пятнадцать лет назад можно было видеть неглубокие окопы, наспех открытые в черную осень 1941 г.

Но если что и осталось в Дубне от далекой весны 1947 г., так это ночные крики птиц, гнездящихся на высоких деревьях, а еще выше — все те же далекие звезды, с годами все более обостряющие щемящую горечь — она от невозможности снова пережить все: и сопричастность к рождению этого города, и запуск первого ускорителя, и бесконечный поиск на нем неизведанного...

Биологический азот в природе и в сельском хозяйстве

Е. Н. Мишустин, Н. И. Черепков



Евгений Николаевич Мишустин, академик, председатель Комиссии по научным основам сельского хозяйства при Президиуме АН СССР, заведует отделом почвенной микробиологии Института микробиологии АН СССР, лауреат Государственных премий, автор нескольких сот публикаций. Основные научные интересы — сельскохозяйственная микробиология. В этом году Евгению Николаевичу Мишустину исполнилось 80 лет. Редакция журнала «Природа» пользуется случаем, чтобы поздравить его со славным юбилеем и присвоением ему звания Героя Социалистического Труда.



Николай Иванович Черепков, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Комиссии по научным основам сельского хозяйства при Президиуме АН СССР.

В последние годы проблема пищевых ресурсов становится для человечества все острее. В первую очередь это относится к пищевым белкам. Во многих странах земного шара отмечается белковая недостаточность. Мировые запасы продовольствия ежегодно уменьшаются по отношению к численности населения. В связи с возросшим спросом на продовольствие и увеличение стоимости удобрений цены на продукты питания все время растут. Не удивительно, что в 1974 г. на Всемирной продовольственной конференции ООН в Риме обсуждался вопрос о возможном наступлении голода на Земле.

По нашим расчетам, растениеводство в СССР дает за год около 71,7 млн т белка, из которых около 5,92 млн т потреб-

ляют люди, 48,37 млн т скармливают животным и 17,48 млн входят в семенной фонд и страховые запасы! Животным недостает у нас примерно 6 млн т растительного белка.

Население СССР (258 млн человек на 1977 г.) помимо 5,92 млн т растительного белка потребляет 5,36 млн т продуктов животноводства. Получается, что в среднем на 1 человека в день приходится 120 г белка, что соответствует рекомендованным медицинским нормам. Поскольку в расчеты по продуктам животноводства входят жир и кости, то потребление белка в действительности оказывается за-

¹ Народное хозяйство СССР в 1977 г. М.: Статистика, 1978.

ниженным. Очевидно, что полноценного белка у нас не хватает и для населения (примерно 2—3 млн т).

Одним из возможных путей ликвидации белкового дефицита может стать широкое использование бобовых культур. Бобовые культуры — прекрасный источник полноценного белка, которого не хватает у нас животным и людям. Зерно злаковых культур имеет 9—12%, редко 15—20% белка, а бобовых — 30—40%. Некоторые сорта сои и люпина содержат до 50% белка и до 10—20% жира. Солома злаковых растений имеет около 3% белка, а бобовых около 10%.

Белок бобовых богат рядом незаменимых аминокислот, которые необходимы животным и человеку и не могут синтезироваться в организме. К ним в первую очередь относятся лизин, метионин и триптофан. Например, в зерне люпина лизина в 3 раза, а метионина и триптофана в 2 раза больше, чем в зерне ячменя. Сено люцерны содержит в 3 раза больше лизина, и в 7 раз больше триптофана, чем зерно кукурузы. Белки люцерны лучше растворяются в воде и нейтральных солях, чем белки кукурузы. Именно поэтому белки бобовых усваиваются животными лучше, чем белки злаковых. По качественному составу белок бобовых (особенно соевый) весьма близок к белкам молока, мяса, яиц.

Проблема продуктивности сельскохозяйственных культур, а также полноценности растительной пищи неразрывно связана с круговоротом азота в природе.

Как известно, большая часть растений, в том числе и сельскохозяйственных, нуждается в минеральных соединениях азота, запас которых в почве ограничен. Поэтому для получения высоких урожаев в почву вносят азотсодержащие удобрения (азотнокислые или аммиачные, или мочевины, которая быстро превращается в почве в аммиак). Растения обеспечивают животных кормами, в которых содержатся белки. Человеку нужны органические азотсодержащие вещества растительного или животного происхождения.

Большую роль в усвоении азота играют азотфиксирующие микроорганизмы, которые обладают специфическим ферментом нитрогеназой. Этот фермент восстанавливает молекулярный азот до аммиака, который легко усваивается растениями и превращается в аминокислоты, а затем в белки. В настоящее время структура нитрогеназы и механизм процесса азотфиксации изучены довольно подробно.

Исследования микробиологов позволили накопить существенные сведения о микроорганизмах, усваивающих азот. Среди них наиболее изучены представители родов *Azotobacter* (аэробные организмы) и *Clostridium* (анаэробные организмы). В зависимости от наличия в почве растительных остатков, а также климатических условий эти микроорганизмы связывают большее или меньшее количество молекулярного азота. В средней полосе они усваивают 10—25 кг N² на га, на севере меньше, а в субтропической и тропической зонах до 50—100 кг на га в год.

Среди свободноживущих азотфиксаторов имеются также фотосинтезирующие организмы (бактерии и водоросли), которые используют в качестве источника энергии солнечный свет. В почве роль таких микроорганизмов незначительна; это, в основном, обитатели водной среды.

Некоторые азотфиксирующие микроорганизмы живут в симбиозе с высшими растениями. Чаще всего они поселяются на корневой системе растений, образуя клубеньки, в которых накапливается большое количество микробов-азотфиксаторов. Иногда подобные скопления имеются на листьях. Микробы, усваивающие молекулярный азот, питаются продуктами фотосинтеза растений, но часть фиксированного ими азота передают растению-хозяину.

Такой симбиоз характерен для многих травянистых и древесных растений. Однако сельскохозяйственное значение пока имеют бобовые растения, на корнях которых клубеньки образуют бактерии из рода *Rhizobium*. Симбиотическая фиксация азота весьма эффективна и позволяет накопить в зависимости от условий роста растений от 60 до 300 кг азота на га в год. Можно считать, что в среднем 2/3 усвоенного азота бобовые растения берут из воздуха и 1/3 из минеральных соединений почвы.

БИОЛОГИЧЕСКИЙ АЗОТ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Уже в древние времена описывали благотворное влияние бобовых на плодородие почвы. Огромное сельскохозяйственное значение бобовых было показано в конце XVIII в. австрийским агрономом И. Шубартом, а в XIX в. началось широкое использование в севооборотах бобовых культур.

В Россию культура хорошего азотфиксатора — клевера была завезена в

конце XVIII в., но широко использовать его, как и другие бобовые культуры, стали только в конце прошлого столетия. В настоящее время сельскохозяйственная продукция земного шара выносит из почвы около 110 млн т азота, а вносится в почвы ежегодно 60 млн т азотных удобрений (в расчете на азот), коэффициент использования которых не превышает 40—50%. Почвы получают также около 15 млн т азота в виде органических удобрений, из которых усваивается не более 30% азота. Таким образом, удобрения могут дать сельскохозяйственным культурам не более 35 млн т азота. Следовательно, основную массу азота (до 75 млн т), которую растения берут из почвы, составляет азот, накопленный в результате биологической фиксации азота.

Следует отметить, что на значительной части естественных лугов расход азота полностью покрывается биологической азотфиксацией. Вообще, если бы не было азотфиксации, то даже из окультуренных черноземов через 100 лет был бы вынесен урожаями весь имеющийся в них запас азота. Этого, однако, не происходит. По примерным подсчетам, на суше нашей планеты ежегодно биологически фиксируется в год около 190 млн т азота, а в водных системах до 130 млн т.

СПЕЦИФИЧНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ МИНЕРАЛЬНОГО И БИОЛОГИЧЕСКОГО АЗОТА НА РАСТЕНИЯ И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Появление минеральных азотных удобрений, их большая эффективность в повышении урожая сельскохозяйственных культур, казалось бы, решило проблему белка, и могло показаться, что «биологический азот» себя изжил и следует полностью переходить на широкое использование азота минеральных удобрений («технического азота»). Однако это не так.

Еще классик агрохимии академик Д. Н. Прянишников указывал, что эти формы удобрений не должны противопоставляться, а их следует сочетать. Нам хотелось бы остановиться на этом вопросе подробнее.

Азотные удобрения в силу их растворимости более доступны растениям, чем биологический азот. Преимущество их также в том, что их вносят в почву в заданных концентрациях. Однако минеральные удобрения относительно дороги. Одна тонна азота минеральных удобрений (аммиачной селитры) стоит 220 руб. Из этого количества внесенного азота растения усва-

ивают не более 40—50%. Значит, 1 т азота, усвоенного растениями и превращенного в белок, обходится около 440—500 руб., а 1 т белка, произведенного бобовыми, стоит лишь 150—200 руб. Для сравнения отметим, что 1 т произведенного заводским путем кормового микробного белка стоит 900—1000 руб.

Как мы уже говорили, растения используют 40—50% внесенного с удобрениями азота. Около 15—20% азотных удобрений превращаются почвенными микроорганизмами в газообразные соединения, часть азотсодержащих соединений вымывается и поступает в водоемы. Часть ассимилируется богатой почвенной микрофлорой и включается в органическое вещество почвы (20—30%). Практически минеральные азотные удобрения реализуются сельскохозяйственными культурами в год их применения. Кроме того, крупномасштабное применение удобрений связано с загрязнением окружающей среды. Повышенные дозы азотных удобрений могут оказывать неблагоприятные воздействия на животных и человека. Дело в том, что минеральный азот в почве находится в форме нитратов (соединений азотной кислоты), так как соединения аммония и мочевины, внесенные в почву, довольно быстро окисляются почвенными бактериями в азотную кислоту. Нитраты могут накапливаться в зеленых частях растений, в семенах они не аккумулируются. В желудочно-кишечном тракте нитраты превращаются под действием микроорганизмов в более токсичные нитриты и канцерогенные нитрозамины.

Корм, обогащенный нитратами, вызывает расстройство пищеварения, общий токсикоз, снижает продуктивность сельскохозяйственных животных и качество получаемой продукции. Потребление пищи, особенно зеленой растительности, обогащенной нитратами, приводит к функциональным расстройствам, а у детей к «синушности», связанной с транспортом кислорода гемоглобином, нередко оканчивающейся смертью. Длительное применение пищи, содержащей высокие концентрации нитратов и нитритов, может привести к возникновению рака. Статистические данные США убедительно показывают, что рак желудка существенно более часто обнаруживается в районах, где применяют высокие дозы азотных удобрений.

Из почвы азотные удобрения частично вымываются, и источники водоснабжения обогащаются нитратами, что не менее опасно, чем их нахождение в кормах и

пище. Поэтому санитарные органы установили предельно допустимые дозы нитратов в воде (ПДД): в условиях умеренного климата не более 20 мг нитратного азота на 1 л, а в южной зоне, где потребляется больше воды, не более 10 мг на 1 л.

Азот, накопленный биологическим путем, не только дешев, но и безвреден. Однако он находится в форме органических соединений (преимущественно белка). Значительная часть азота бобовых культур уходит с урожаем, а остатки растений закладываются, постепенно минерализуются, и их составные части, в том числе и азотные соединения, становятся доступны растениям. На следующий год после закладки растения используют 25—30% азота, поступившего в почву с остатками бобовых культур. За последующие 2—3 года растения используют еще около 20% азота растительных остатков. Остальная часть перерабатывается микробами и включается в менее доступные фракции органического вещества почвы. Небольшое количество азота, накопленного бобовыми культурами, после минерализации разными путями теряется из почвы. Таким образом, «биологический азот» бобовых культур используется иначе, чем азот минеральных удобрений.

Азот, усваиваемый свободноживущими микроорганизмами, накапливается в почве постепенно, в течение вегетационного периода. Растения используют его лишь после отмирания микробов и минерализации их плазмы, что осуществляется также относительно медленно. Таким образом, биологический азот можно рассматривать как аккумулятор почвенного плодородия.

БИОЛОГИЧЕСКИЙ АЗОТ КАК ИСТОЧНИК КОРМА И ПИЩИ

Как мы уже говорили, с появлением минеральных удобрений проблема повышения урожайности сельскохозяйственных культур, казалось бы, решена. Однако многолетний опыт показал, что естественный круговорот азота незаменим и биологический азот имеет целый ряд неоспоримых преимуществ перед минеральным азотом.

Посмотрим, что показывают самые грубые подсчеты. Так, по некоторым данным, в странах Западной Европы в последнее время посевы бобовых культур сократились. Однако при этом не учитывают, что европейские страны закупают соевые бобы для кормов в США: Франция ежегодно закупает 3 млн т этих продуктов,

ФРГ — 5,3 млн т (данные ФАО) и т. д. Это тяжелым бременем ложится на бюджет стран-потребителей, а США получает от экспорта сои огромный доход — около 6,45 млрд долл. в год.

Наконец, посмотрим на экономическую сторону вопроса. Наши огромные площади сельскохозяйственных угодий в ближайшее время трудно обеспечить минеральными удобрениями. Сейчас, например, удобрения вносят под технические культуры, но значительная площадь зерновых совсем не получает азотных удобрений. Отказываться от дешевого и ценного биологического азота при особенностях нашей страны более чем неосмотрительно.

В США, имеющих пахотную площадь в 134 млн га, в настоящее время под посевом соевых бобов занято 23,5 млн га. В 1935 г. под эту культуру отводили лишь 1 млн га. Под люцерной и другими бобовыми в США в настоящее время занято 15 млн га. Урожай бобовых культур в США высоки: соевые бобы дают 20—25 ц/га зерна, а люцерна 70 ц/га сена. Общий сбор соевых бобов в США сейчас (1977) достигает 47,9 млн т, а сена люцерны 72,9 млн т.

В СССР из общей пахотной площади в 226 млн га под зернобобовыми (в том числе под соей) находится лишь 6,2 млн га. По климатическим условиям мы не можем занимать соей столь большую площадь, как в США. Однако есть другие не менее ценные бобовые культуры (люпин, горох, фасоль и т. д.). Под люцерной, клевером и другими кормовыми бобовыми мы имеем 19 млн га. В общем, бобовые культуры у нас выращивают на 11% пахотных земель, т. е. на площади почти в 3 раза меньшей, чем в США. Урожай их невысок. Зернобобовые дают около 16 ц/га зерна, а кормовые бобовые около 27 ц/га сена. Общий сбор зернобобовых у нас составляет примерно 8 млн т, а сена бобовых 31 млн т. Этого недостаточно для корма. На поле же остается мало растительных остатков (корни и стерня) бобовых, обогащающих почву азотом.

Отметим, что страны Южной Америки (Аргентина, Бразилия) в последнее время сильно увеличили производство сои, сократив площадь под плантациями кофе. Большие площади под зернобобовые (соя, арахис, горох и т. д.) отводятся в странах Азии, в частности в Индии и Китае.

В 70-е годы особенно в США и Японии начали широко использовать в пищевой промышленности сою и продукты, вырабатываемые из нее. Сейчас экспорт соевых продуктов из США составляет

27 млн т (по данным ФАО, 1977 г.). Диетологи и биохимики приравнивают их по питательности к белку мяса, а стоимость в несколько раз дешевле его.

ОБЩАЯ ПРОДУКЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО АЗОТА В СССР

На основании существующих материалов мы примерно подсчитали поступление биологического азота в сельское хозяйство. При этом исходили из имеющихся данных, что при высоких урожаях бобовых (5—7 т/га) фиксированный азот распределяется в наземной массе и в пожнивных остатках примерно поровну. При низких урожаях многолетних трав корневых и пожнивных остатков оказывается в 2 раза больше, чем сена. Для зернобобовых принято соотношение зерна, соломы и растительных остатков 1:1:1. Многолетние опыты показали, что бобовые фиксируют примерно 2/3 азота из атмосферы и 1/3 из почвы, но при высоких урожаях азотфиксация увеличивается до 70%.

Можно принять, что в условиях более южного климата, например, в США на почвах, богатых растительными остатками, свободноживущие бактерии связывают 20 кг азота на га, а в более северном поясе — 15 кг (СССР). При принятых условиях для сельскохозяйственных угодий будем иметь следующую картину (млн т N₂).

Сравнительные данные поступления азота в почву

Азот	США	СССР
Биологический:		
бобовые культуры	3,43	1,56
в корневой системе и стерне	4,18	1,40
в надземной массе	2,7	3,4
свободноживущие фиксаторы азота почвы		
Минеральный:	8,62	6,1
внесенный с удобрениями		
в почву		

С лугов США получают около 47,5 млн т в бобовом компоненте кормов, а в СССР около 15 млн т. (В СССР меньше атмосферных осадков, а луга почти не удобряются.)

Приведенные данные показывают, что суммарный эффект азотфиксаторов как в СССР,² так и в США³ велик. Они дают сельскому хозяйству не менее азота, чем минеральные удобрения, но американцы

с существенно меньшей площади получают в 2 раза больше биологического азота бобовых.

Остановимся на источниках белка, получаемого в нашем земледелии.⁴ Подобный анализ целесообразен и может оказать помощь в определении путей развития растениеводства. В настоящее время общая продукция дает нам 72 млн т растительного белка, причем большая его часть приходится на злаковые культуры (26,4 млн т); в их соломе содержится 7,4 т белка. Зернобобовые дают 3,05 млн т, а бобовые травы — 5,1 млн т. Со всех угодий от бобовых культур собирается около 13,2 млн т, т. е. в 5,5 раз меньше, чем от злаковых.

Таким образом, большая часть корма для животных состоит из растений, бедных белком. Напомним, что люди потребляют лишь 8,3% растительных белков. Основная масса растительного белка идет на корм животным, в семена, страховые запасы, в естественную убыль при хранении.

ЦИКЛ БИОЛОГИЧЕСКОГО АЗОТА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ СССР

Посмотрим, как происходит круговорот азота в природе, используя конкретные данные. Растения сначала утилизируют первичные источники азота в минеральных удобрениях, а также биологический азот

бобовых растений и свободноживущих почвенных микроорганизмов (первый цикл). На следующий год или при повторных посевах злаков или других растений происходит так называемая реутилизация (второй цикл). Реутилизация биологического азота на этом этапе осуществляется из нескольких источников: из запаханых перегнивших корней и стерни бобовых; из навоза и других органических удоб-

² Там же.

³ ФАО Monthly bulletin of statistics, 1978, v. 1, № 4.

⁴ Мишустин Е. Н., Черепков Н. И. Известия АН СССР, сер. биол., 1979, № 5.

рений, получаемых в виде отбросов после поедания урожая скотом и людьми; из минерализованных тел свободноживущих микробов-азотфиксаторов; из невошедших и сгнивших семян бобовых растений.

Возникает весьма важный вопрос: может ли биологический азот, накопленный в почве за определенный год, использоваться как удобрение для последующего урожая. Корневые и пожнивные остатки бобовых растений минерализуются постепенно, и урожай следующего года использует около 1/3 содержащегося в них азота. Свободноживущие азотфиксаторы еще медленнее отдают азот, имеющийся в их клетках. Мы допускаем, что от 6 до 10% ассимилированного ими азота усваивается растениями, а остальная часть аккумулируется в почве, частично вымывается, теряется в воздух в результате процесса денитрификации. Азот органических удобрений в первый год его внесения в почву становится доступным посеву лишь на 30%.

Азотные удобрения используются посевом на 40—50%. При этих допущениях мы можем считать, что растения на пашне усваивают азот из разных источников в следующей пропорции.

Поступление азота в почву и его потребление растениями на пашне СССР

Поступление азота в почву	Количество, млн т	Количество, усвоенное урожаем, млн т
с удобрениями:		
минеральными	6,1	3,0
органическими	3,3	1,1
с урожаем бобовых	1,14	1,14
с корневыми и пожнивными остатками бобовых	1,15	0,3
усвоено свободноживущими микробами	3,4	0,2—0,34

В то же время урожай сельскохозяйственных культур выносит с пахотной площади около 10 млн т азота (с учетом почвенного азота). Следовательно, вносимые в почву минеральные и органические удобрения обеспечивают (с учетом последнего действия) не более половины азотного питания сельскохозяйственных растений. Биологический азот, при существующих у нас площадях бобовых, дает около 20% азота, необходимого для существующего урожая. До половины азота растения берут

из почвенных запасов, накопленных азотфиксаторами, а также в некоторой степени органическими удобрениями за предыдущий период времени.

Таким образом, биологический азот имеет огромное значение для поддержания плодородия почвы на высоком уровне. Наиболее целесообразно сочетать в земледелии технический и биологический азот. Приведенные нами данные вполне подтверждают положение, ранее высказанное академиком Д. Н. Прянишниковым.

ПУТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОГО АЗОТА

Приведенные выше расчеты убедительно показывают, что значимость биологического азота в нашем сельском хозяйстве необходимо повысить. Прежде всего должна быть увеличена урожайность бобовых культур в 2—3 раза. Для этого следует провести ряд мероприятий.

Бобовые в основной массе, за исключением люпинов, сераделлы и лядвенца рогатого, лучше всего растут на нейтральных почвах. Поэтому кислые почвы, отводимые под посев бобовых, необходимо известковать.

На нейтральных и обеспеченных влагой почвах получают высокие урожаи бобовых (не менее 5 т/га сена) при внесении средних доз калийных и фосфорных удобрений (40—60 кг/га P_2O_5 и 40—100 кг/га K_2O). Для некоторых зернобобовых, растущих на бедных азотом почвах, также положительно действуют небольшие «стартовые» или средние дозы минеральных азотных удобрений. При повышенных дозах этих удобрений растения перестают усваивать молекулярный азот и переходят на питание связанным азотом.

Если почвы бедны такими микроэлементами, как молибден и бор, то полезно вносить их в почву в небольших дозах. Молибден входит в каталитическую систему нитрогеназы. Бор способствует развитию сосудистой системы растений, что обеспечивает успешный симбиоз бобовых с бактериями.

Весьма важно обеспечить образование клубеньков у бобовых растений, которые возникают при инфекции корневой системы бактериями рода *Rhizobium*. Каждому виду бобовых растений или узкой их группе соответствует специфический вид клубеньковых бактерий. Если на каких-то почвах не росли определенные бобовые растения, то их клубеньковые бактерии отсутствуют. В подобных случаях

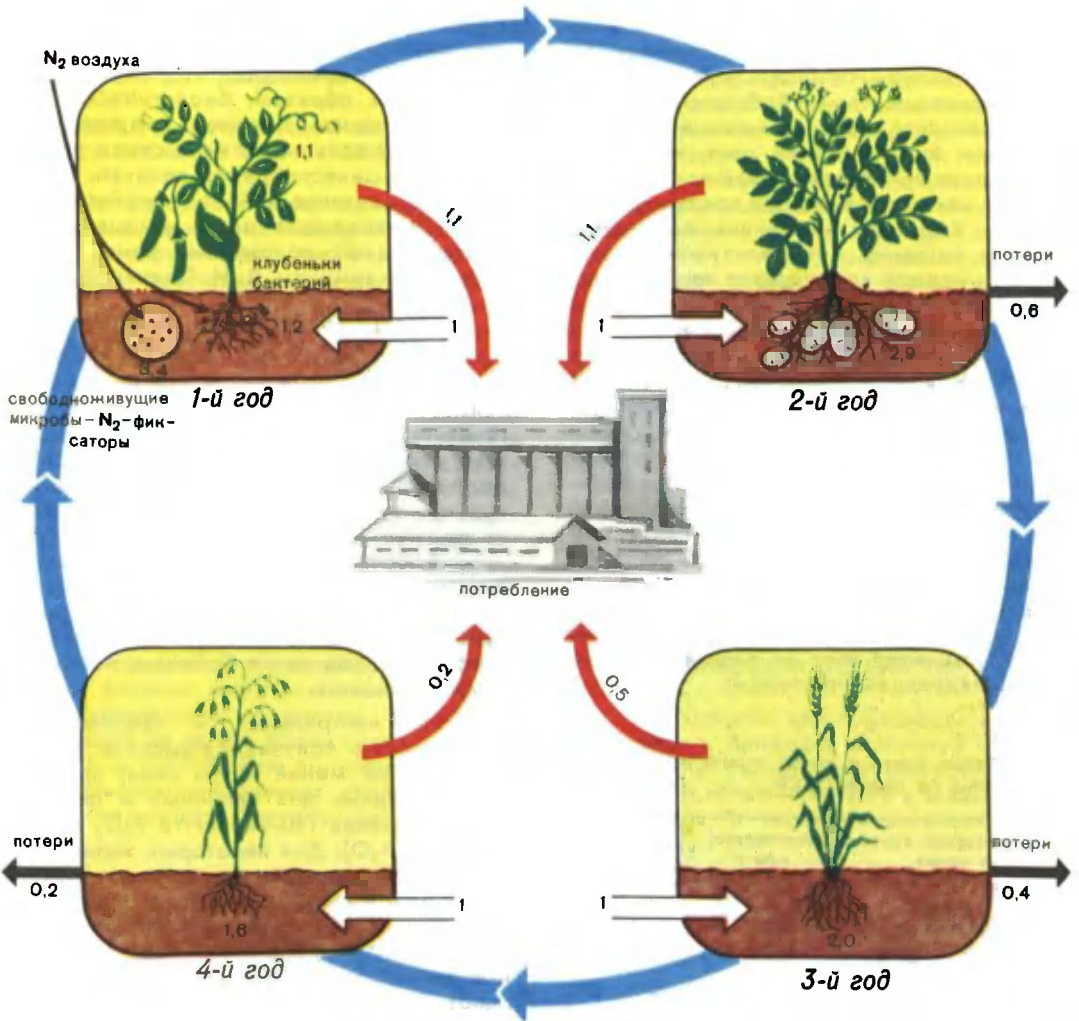


Схема круговорота биологического азота [млн т] в сельском хозяйстве СССР на пашне [на примере 1977 г.]. Внесение в почву органического удобрения показано полными стрелками.

клубеньки не образуются и бобовые могут использовать только минеральный азот. Поэтому семена новых культур бобовых необходимо заражать («инокулировать») клубеньковыми бактериями. Существует специальный препарат, называемый «нитрагин», содержащий нужные виды клубеньковых бактерий, который выпускается предприятиями Главмикробиопрома и некоторыми лабораториями. Эффект

от подобной обработки семян получается весьма большим.

Возникает вопрос — следует ли заражать клубеньковыми бактериями семена бобовых, высеваемых на почвах, где эти культуры раньше росли. Можно полагать, что в таких случаях эффекта не будет, так как в почве уже имеются клубеньковые бактерии. Однако опыт показывает, что в этом случае инфицирование семян повышает урожайность на 10—20%. Это объясняется тем, что клубеньковые бактерии по мере существования в почве численно уменьшаются и активность их снижается. Обработка семян нитрагином — операция дешевая, и ее целесообразно шире использовать.

Помимо повышения урожайности

Влияние инокуляции на соевые бобы*

Число клеток клубеньковых бактерий, нанесенных на одно семя	% растений, образовавших клубеньки	Урожай, ц/га	Белок, собранный с урожая, кг/га
Контроль (без инокуляции)	2,6	11,4	360
$1,8 \cdot 10^3$	23,8	14,7	474
$2,0 \cdot 10^4$	56,3	16,0	568
$1,5 \cdot 10^5$	60,0	23,8	827
$2,4 \cdot 10^6$	100,0	35,0	1477

* По данным М. Обатона и М. Роллье, 1970.

бобовых необходимо расширять площади под посевы бобовых растений. Если приблизить севообороты к плодосменному типу, то посев зернобобовых можно с 6 млн га увеличить до 20—25 млн га, а многолетних бобовых трав с 15 до 30 млн га. Желательно также подсевать бобовые культуры на окультуренных лугах и пастбищах.

Расширение посевов бобовых культур невозможно без правильного семеноводства и одновременного налаживания производства машин для их культивирования и уборки урожая.

Весьма важно найти пути для усиления активности свободноживущих азотфиксаторов в почве. Напомним, что их активность связана с поступлением в почву пожнивных и корневых остатков сельскохозяйственных культур. С повышением урожайности увеличится поступление органических веществ в почву, что активизирует процесс азотфиксации.

Имеется и другая возможность повысить биологическое азотнакопление в почве. У нас ежегодно на полях сжигают до 100 млн т соломы злаковых растений, содержащих до 0,5 млн т органического азота, который полностью теряется для почвы. Доказано, что при запахивании в почву 1 т соломы микробы связывают 5 кг молекулярного азота. Таким образом, можно получить еще 0,5 млн т бесплатного азота, а всего с внесенной соломой около 1 млн т.

Солому до последнего времени опасались запахивать в почву, так как при этом наблюдались некоторые нежелательные явления, приводящие к снижению урожая. Однако сейчас рекомендованы приемы, позволяющие эффективно использовать солому как органическое удобрение. Запахивание соломы сейчас довольно широко применяется в США. Во Франции недавно издано правительственное рас-

поряжение, запрещающее сжигать солому и рекомендующее ее использовать для улучшения свойств почвы.

Таким образом, биологический азот должен рассматриваться как мощный фактор формирования потенциального плодородия почвы. Он создает благоприятный фон для земледелия и позволяет более экономно расходовать минеральные удобрения. Следует принять все возможные меры для увеличения вклада биологического азота в фонд почвы.

Расширение посевов и увеличение производства бобовых культур потребует определенных усилий. Прежде всего нужен обоснованный подбор их ассортимента для определенных зон.

Культурные бобовые растения завозывают с каждым годом все большие площади посева. Однако в нашей стране в культуре используют весьма ограниченный сортимент бобовых. Это — клевер, люцерна, горох, вика, люпин, соя, донник, фасоль, бобы, чечевица, арахис, чина, ляденец рогатый, нут, маш. Последние 6 видов весьма слабо распространены.

В СССР произрастает около 1800 видов бобовых. Выявление размеров их азотфиксации, введение в культуру лучших из них и из симбионтов других семейств — благодарная задача ученых.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Мишустин Е. Н. МИКРООРГАНИЗМЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ. М., Наука, 1972.

Мишустин Е. Н., Шильникова В. К. КЛУБЕНЬКОВЫЕ БАКТЕРИИ И ИНОКУЛЯЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС. М.: Наука, 1973.

КРУГОВОРОТ И БАЛАНС АЗОТА В СИСТЕМЕ РАСТЕНИЕ — ПОЧВА — УДОБРЕНИЕ — ВОДА. М.: Наука, 1979.

Горючие газы подземных вод

Л. М. Зорькин



Леонид Матвеевич Зорькин, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий лабораторией ядерной геологии Всесоюзного научно-исследовательского института ядерной геофизики и геохимии Министерства геологии СССР. Специалист по геохимическим методам поисков месторождений нефти и газа.

Все поры и трещины земной коры, начиная от уровня грунтовых вод и до глубин надкритических температур, заполнены водой, которая в том или ином количестве содержит растворенные газы. Особенно много газов преимущественно углеводородного состава в подземных водах нефтегазоносных бассейнов. Изучение происхождения этих газов и их распространения важно для решения такого сложнейшего вопроса современного естествознания, как образование углеводородов. Кроме того, сведения о газах подземных вод позволяют правильно вести поиски нефти и газа. Да и сами растворенные горючие газы могут стать богатым источником химического и энергетического сырья.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Насыщенность газом пластовых вод, как и нефтегазоносность недр, имеет региональный характер. Другими словами, если в каком-либо пункте нефтегазоносного бассейна вскрыты пластовые воды с определенным составом газа, то такого же типа газы и приблизительно в таких же количествах будут обнаружены на значительной территории. Резкое изменение состава газов обычно обусловлено местными фак-

торами и легко может быть замечено на общем для региона фоне.

На примере многих нефтегазоносных бассейнов нам удалось выявить, что распределение газов в подземных водах этих бассейнов подчиняется определенным закономерностям. В окраинных частях бассейнов растворены преимущественно азотные газы ($N_2 > 75\%$), а ближе к внутренним — метаново-азотные ($N_2 > 50\%$), азотно-метановые ($CH_4 > 50\%$) и в центральных частях — метановые ($CH_4 > 75\%$). Одновременно с увеличением доли метана в составе газов появляются его гомологи: сначала этан (C_2H_6), затем пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}) и пентан (C_5H_{12}). Гомологи метана появляются в составе растворенных газов там, где рассеянное органическое вещество пород подвергалось длительному воздействию относительно высоких температур. Такие условия характерны для внутренних районов нефтегазоносных бассейнов, и именно по направлению к центру бассейнов увеличивается концентрация тяжелых углеводородов.

Размеры указанных зон зависят от геологического строения нефтегазоносных бассейнов и особенностей их гидрогеологического развития. Например, в пределах границ Западно-Сибирского бассейна зоны азотных и метаново-азотных газов протягиваются неширокими поясами вдоль

окраин, а на обширных просторах внутренних районов преобладают метановые газы. В пределах Урало-Волжского нефтегазоносного бассейна, наоборот, зоны азотных и переходных газов распространены на больших площадях, и лишь в пределах Прикаспийской впадины и в узкой полосе Предуральяского прогиба развиты метановые газы.

От окраин нефтегазоносных бассейнов к их внутренним районам растет общее количество растворенных газов, достигая максимума в зоне метановых газов. В этом же направлении, от окраин бассейнов к их внутренним наиболее погруженным частям, возрастает и упругость газов, а также коэффициент насыщения вод газами¹. Все эти закономерности нарушаются в районах нефтяных и газовых залежей. Залежи служат как бы полюсами, вокруг которых резко возрастает насыщенность подземных вод газом и суммарная упругость растворенных газов. Вблизи залежей нефти и газа изменяется и состав газов, растворенных в подземных водах: в них возрастает содержание метана, а вблизи нефтяных и газоконденсатных залежей, кроме того, повышается концентрация тяжелых углеводородов. И лишь в тех нефтегазоносных бассейнах, где воды предельно насыщены газом, что свойственно метановым зонам молодых нефтегазоносных бассейнов, региональный фон близ залежей углеводородов не нарушается.

Особенности насыщения пластовых вод газами имеют вполне реальное практическое значение, позволяя оценить перспективы нефтегазоносности как крупных регионов, так и локальных структур. Как правило, наиболее перспективна для поисков нефти и особенно газа зона метановых газов внутренних районов нефтегазоносных бассейнов. Практически все уникальные месторождения газа приурочены к этой зоне. С переходными зонами азотно-метановых и метаново-азотных газов связаны месторождения нефти. Зона азотных газов в большинстве случаев не представляет практического интереса.

Многие исследователи считают, что наиболее достоверно оценить перспективы

локальной структуры можно по упругости растворенных газов. Например, удалось установить, что при быстром увеличении упругости растворенного газа к своду структуры (вверх по разрезу) эта структура обязательно содержит залежь газа; а если к своду структуры повышается и содержание гомологов метана в составе растворенных газов, есть полное основание предполагать, что эта структура будет содержать нефтяную или газоконденсатную залежь.

КАК ГАЗЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД РАСПРЕДЕЛЕНА В ВЕРТИКАЛЬНОМ РАЗРЕЗЕ

Чем глубже залегают осадочные отложения, тем выше насыщенность газом заключенных в них пластовых вод. На фоне этой общей закономерности можно выделить зоны с высокой, иногда даже предельной, насыщенностью пластовых вод метаном. Зоны эти приурочены к верхним и нижним частям разрезов, а между ними располагается зона, не столь богатая газом.

Эта нормальная зональность может быть нарушена, если гидро-геологический комплекс (т. е. породы вместе с заключенными в них пластовыми водами) подвергся промыву в результате инфильтрации². Так, на Северном Устурте под эоценовым водоносным комплексом, богатым метаном, находится слабо насыщенный азотными газами меловой комплекс. А залегающие еще ниже воды юрских и пермско-триасовых отложений вновь обогащены углеводородными газами. В Прикаспийской впадине насыщенные метаном неогеновые воды подстилаются водами мезозойских комплексов, бедными углеводородами.

Особенности насыщения пластовых вод газами позволили нам разделить осадочные породы, слагающие нефтегазоносные бассейны, на три зоны. Для верхней зоны (до глубины 1—1,5 км) характерна высокая, зачастую предельная насыщенность пластовых вод газами главным образом метанового состава. Происхождение этих газов биохимическое. Под верхней газовой зоной (до глубины 4—6 км) простирается нефтегазовая зона. В этой зоне затухают процессы биохимического образования газов, возрастает роль тер-

¹ Упругость растворенных газов (или давление насыщения) — давление, при котором определенный объем газа находится в растворенном состоянии. Упругость измеряется в мегапаскалях (МПа). Под коэффициентом насыщения вод газами принято понимать отношение суммарной упругости газов к гидростатическому давлению подземных вод.

² Инфильтрация — проникновение воды из атмосферы и с земной поверхности в почву и горные породы.



Изменение состава газов, растворенных в подземных водах, от окраин нефтегазоносных бассейнов к их внутренним районам [на примере меловых отложений Западной Сибири].

- метановые газы внутренних районов бассейна
- азотно-метановые газы переходной зоны
- метаново-азотные газы переходной зоны
- азотные газы окраинных районов

содержание отдельных компонентов в объемных процентах]:

15 метан

0,2 тяжелые углеводороды (этан, пропан, бутан)

50 азот

мокаталиитических процессов, приводящих к образованию жидких углеводородов и гомологов метана. Пластовые воды нефтегазовой зоны, как правило, обогащены тяжелыми углеводородами $C_2H_6 - C_5H_{10}$ при одновременном уменьшении концентрации метана. Возрастает в них и содержание азота, вследствие чего газы приобретают азотно-углеводородный состав. Ниже глубины 4—6 км, где процессы образования жидких углеводородов затухают, нами выделена нижняя высокотемпературная газовая зона. В ней образуется главным образом метан, и вполне возможны процессы, приводящие к разрушению жидких углеводородов, образовавшихся ранее в нефтегазовой зоне. Содержание гомологов метана здесь ниже по сравнению с нефтегазовой зоной. В нижней газовой зоне при высоких давлениях и температурах возможно существование однородной газовой смеси, что обусловлено высокой растворимостью воды в сжатых газах.

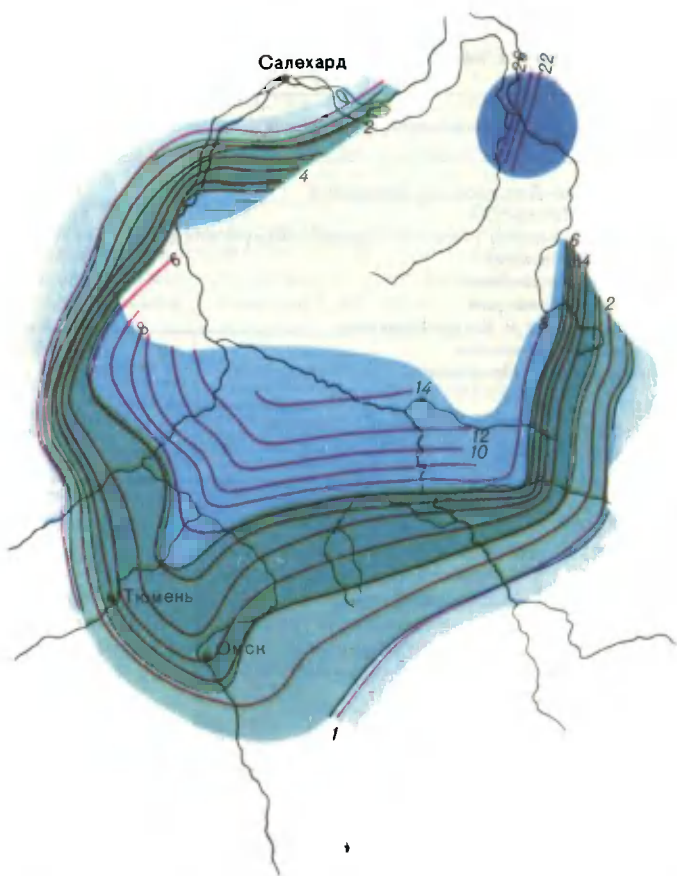
В пределах конкретных нефтегазоносных бассейнов не всегда представлены

все три зоны. В бассейнах, сложенных древними толщами, верхняя зона газообразования обычно разрушена. В молодых бассейнах с мощностью осадочных толщ до 1,5—2 км имеется лишь верхняя зона газообразования, а нижняя высокотемпературная зона газообразования формируется в тех бассейнах, где мощность осадочных отложений превышает 4—5 км.

Вертикальная зональность насыщения пластовых вод газами и зональность нефтегазообразования важны для геологической практики, так как позволяют выявлять наиболее вероятные места скопления углеводородов. Например, уникальные месторождения газа на севере Западной Сибири и на Северном Кавказе совпадают с отложениями верхней газовой зоны, а крупные газовые месторождения Прикаспийской впадины связаны с образованием газа в пределах нижней газовой зоны.

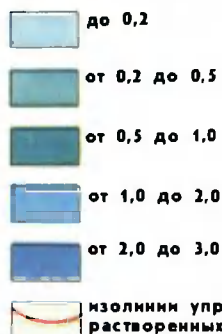
РЕСУРСЫ ГАЗОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Насыщенность пластовых вод газом изменяется в широких пределах: от долей



Изменение количества и упругости газов, растворенных в подземных водах нефтегазоносных бассейнов (на примере меловых отложений Западной Сибири).

содержание растворенного газа (в м^3 на м^3 пластовой воды):



кубометра до 9 м^3 газа на 1 м^3 воды. Количество растворенного газа зависит от мощности осадочных отложений, слагающих нефтегазоносный бассейн, и их коллекторских свойств, интенсивности образования и рассеивания углеводородов, газоемкости пластовых вод. Например, в одном кубометре пластовых вод Урало-Волжского нефтегазоносного бассейна содержится до $1\text{—}1,3 \text{ м}^3$ углеводородного газа. Насыщенность пластовых вод осадочного Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна достигает $2\text{—}3 \text{ м}^3$ газа на 1 м^3 воды. Еще выше насыщенность пластовых вод Средне-Каспийского нефтегазоносного бассейна — до $4\text{—}5 \text{ м}^3$ газа на 1 м^3 воды. Максимальная газонасыщенность была установлена в Индоло-Кубанском прогибе — 9 м^3 газа на 1 м^3 пластовой воды.

Суммарное количество газов, растворенных в водах основных нефтегазоносных бассейнов СССР, превышает 4000 трлн м^3 (см. табл.). Приведенные в таблице ресурсы растворенных газов под-

считаны до глубины $3\text{—}4$ км, и лишь для Прикаспийской впадины расчеты выполнены до глубины 7 км. Следует иметь в виду, что с глубиной газоемкость пластовых вод существенно возрастает в связи с понижением минерализации пластовых вод, ростом температуры и давления. Следовательно, на глубине свыше $7\text{—}8$ км насыщенность пластовых вод газом может оказаться намного больше, чем 10 м^3 газа на 1 м^3 воды. Все это существенно увеличивает общие ресурсы растворенных газов.

По данным американского геолога Л. Уикса, общий объем углеводородов в пластовых водах осадочных бассейнов мира составляет 1800 трлн м^3 . Цифра эта явно занижена: только в бассейнах Советского Союза суммарный объем растворенных газов превышает 4000 трлн м^3 . Выполненные нами расчеты показывают, что в осадочных бассейнах мира растворено 10^{16} м^3 природного газа, а, по мнению гидрогеолога В. Н. Корценштейна, даже 10^{18} м^3 .

Таблица

Ресурсы растворенных газов пластовых вод основных нефтегазоносных бассейнов СССР

Геологическая структура	Нефтегазоносный бассейн	Ресурсы, трлн м ³
Восточно-Европейская платформа	Припятско-Днепровско-Донецкий	57,0
	Тимано-Печорский	280,0
Скифская и Туранская плиты	Урало-Волжский (включая Прикаспийскую впадину)	1120,0
	Азово-Кубанский	180,0
	Средне-Каспийский	259,0
	Южно-Каспийский	320,0
	Каракумский и Кызылкумский	130,0
Западно-Сибирская платформа	Западно-Сибирский	1000,0
Сибирская платформа	Тунгусский и Иркутский	745,0
Итого		4091,0

Подсчитанные нами ресурсы растворенных углеводородных газов многократно превышают промышленные запасы углеводородов. Это положение чрезвычайно важно для выяснения многих вопросов геологии нефти и газа. Если преобладающее количество углеводородов в осадочных слоях земной коры находится в водно-растворенном состоянии, а не в виде свободных газов газовых залежей и не в виде жидких углеводородов, то первоочередной задачей нефтяников представляется выяснение происхождения углеводородов пластовых вод.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Рассматривая происхождение углеводородных газов, растворенных в пластовых водах нефтегазоносного бассейна, следует в первую очередь указать на ярко выраженную связь между составом растворенных газов, с одной стороны, и типом и степенью преобразования рассеянного органического вещества окружающих осадочных пород, с другой. Эта связь говорит в пользу органического происхождения растворенных углеводородных газов.

К числу гидрогеологических признаков органического генезиса углеводородов относятся также такие особенности насыщения пластовых вод углеводородами, как вертикальная и горизонтальная зональность их распределения в пределах отдельных нефтегазоносных бассейнов. Если бы углеводороды поступали в осадочные породы по глубинным разломам, как предполагают сторонники неорганического генезиса нефти и газа, то насыщенность под-

земных вод газами резко возрастала бы вдоль глубинных разломов. А этого фактически нет. Есть лишь горизонты с различной насыщенностью подземных вод газами, что противоречит допущению о миграции углеводородов по глубинным разломам и указывает на их образование в этих же породах.

Сторонники органического происхождения углеводородов считают, что источником нефти и газа служит органическое вещество, рассеянное в осадочных породах. Практически все породы — песчаные, глинистые, карбонатные — могут генерировать то или иное количество нефти и газа. Но каким образом рассеянные в породах нефть и газ собираются в залежи и месторождения?

Наиболее уверенно мы можем ответить на этот вопрос, если речь идет о месторождениях газа. Дело в том, что углеводородные газы, которые образуются в водоносных пластах, тут же растворяются в подземных водах. Углеводородные газы, генерируемые органическим веществом глинистых толщ, также поступают в смежные водоносные пласты³. В водоносных пластах газы перемещаются в основном с пластовыми водами, будучи в них растворены.

Рассматривая вопрос о формировании месторождений газа, следует отметить, что запасы промышленных месторождений составляют ничтожную долю от растворенных газов пластовых вод — не

³ Вместе с газами из глинистых толщ уходит в проницаемые пласты и рассеянная нефть. Происходит это благодаря способности сматых газов растворять жидкие углеводороды.

более 1—2%. Основная же часть газа рассеяна в подземной гидросфере планеты. По мнению большинства исследователей, залежи газов образуются путем их выделения из пластовых вод. Газ выделяется из пластовой воды либо при снижении гидростатического давления, либо при уменьшении температуры воды или ее минерализации. Так, выделением газа из подземных вод в результате снижения пластового давления в плейцен-четвертичное время объясняет гидрогеолог Н. М. Кругликов формирование уникальных месторождений на севере Тюменской области.

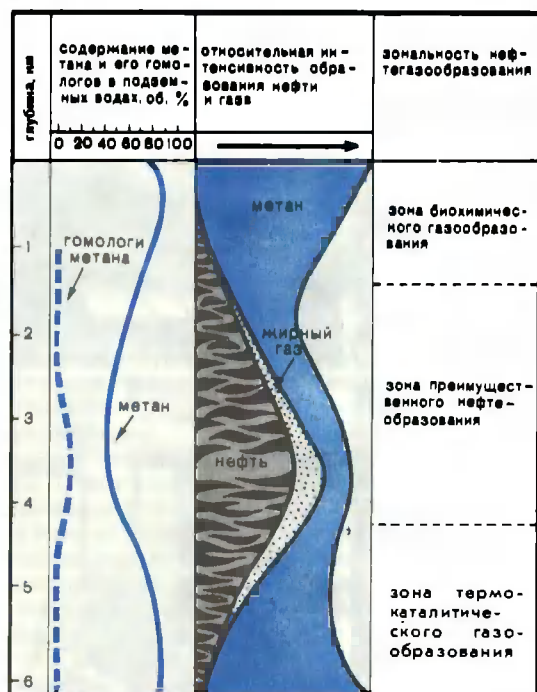


Схема вертикальной зональности образования нефти и газа в недрах нефтегазоносных бассейнов.

ВОЗМОЖНА ЛИ ДОБЫЧА УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ВОД?

В последние годы широко обсуждается вопрос о новых источниках энергетического сырья. В качестве такого источника попытаемся рассмотреть и растворенные углеводородные газы подземных вод, которые по своим запасам представляют собой сверхгигантские месторождения.

Опыт использования растворенных газов незначителен. По сообщению фран-

цузского экономиста И. Кауффера, в Африке газ добывают из оз. Киву. Здесь образующийся биохимическим путем метан полностью растворен в воде, и с глубины 275—475 м насыщенные газом воды поднимают по бамбуковым трубам методом газлифта⁴.

В настоящее время лишь в Японии добыча растворенного газа осуществляется в широких масштабах: его доля в общей добыче горючих газов в 60-е годы составляла 27—30%. Наиболее крупные месторождения растворенных газов приурочены к нефтегазоносным бассейнам Канто и Ниигата. На глубине 1000 м на 1 м³ воды приходится 1,25 м³ газа, а на глубине 1400 м — 2,7 м³. Добывают эти газы либо из самоизливающихся скважин, либо газлифтом, либо погруженными насосами. Рассолы после извлечения газа сливают в море.

При разработке месторождений растворенных газов возникают две проблемы: проблема транспортировки подземных вод на земную поверхность, где воды дегазируются при атмосферном давлении, и проблема захоронения оставшихся рассолов. Поэтому экономически выгодно разрабатывать те гидрогеологические комплексы, воды которых в течение длительного времени будут самоизливаться. Такие гидрогеологические комплексы обычно связаны с молодыми мезокайнозойскими отложениями.

Следует отметить, что богатые углеводородными газами бассейны подземных вод обычно совпадают с бассейнами термальных вод, обогащены промышленно ценными химическими элементами и зачастую обладают бальнеологическими свойствами. Все это позволяет планировать комплексную разработку подземных вод нефтегазоносных бассейнов.

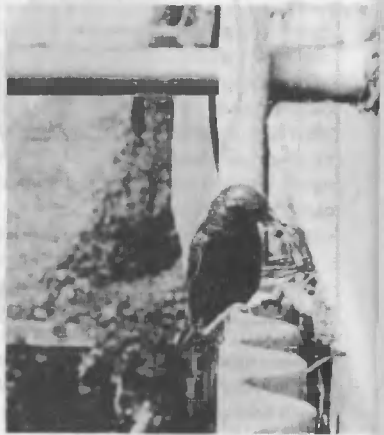
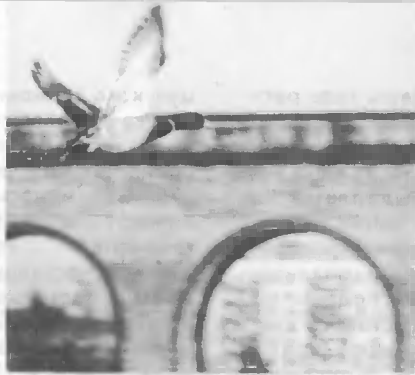
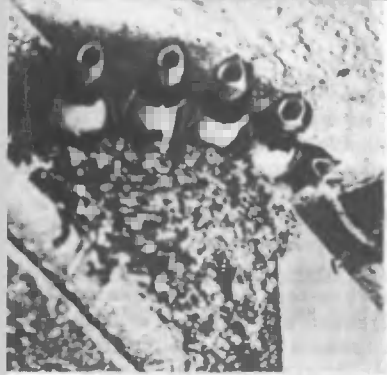
⁴ Газлифт — подъем жидкости за счет энергии, содержащейся в смешиваемом с нею сжатом газе.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Зорькин Л. М. ГЕОХИМИЯ ГАЗОВ ПЛАСТОВЫХ ВОД НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ БАСЕЙНОВ. М.: Недра, 1973.

Щербakov А. В., Козлова А. Д., Смирнова Г. Н. ГАЗЫ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД. М.: Недра, 1974.

Высоцкий И. В. ГЕОЛОГИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА. М.: Недра, 1979.



Птицы в городе

К. Н. Благосклонов



Константин Николаевич Благосклонов, кандидат биологических наук, доцент биологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Орнитолог. Автор многих статей и книг по экологии птиц, прикладной орнитологии и охране природы. Постоянный автор журнала «Природа».

Коренные изменения ландшафта, вызванные градостроительством на больших территориях, существенно влияют на флору и фауну.

Птицы, как наиболее заметная группа животных, могут служить показателем изменений фауны. Из 180 наблюдавшихся в Москве видов птиц по крайней мере 110 видов гнездятся. Птиц, живущих в больших городах, удобно разделить условно на три группы: синантропов, урбофилов и урбофобов.

К синантропам относят виды, издавна живущие рядом с человеком преимущественно в городах или в других населенных пунктах. К ним относятся сизый голубь, городской воробей, стриж, галка, отчасти городская ласточка и кольчатая горлица, не-

давно (в 1941-1979 гг.) поселившаяся в городах главным образом юга Европейской части нашей страны.

В отличие от синантропов, вторая группа птиц, называемых **урбофилами**, обитает как в городе, так и вне его. Они в разной степени освоили городские условия жизни. Некоторые из них стали типично городскими птицами и, видимо, уже не могут существовать вне города. Классический пример — городские черные дрозды Западной и Центральной Европы (а с недавнего времени и некоторых городов Восточной Европы). К урбофилам, находящимся на пути к синантропизации, можно отнести городские популяции серых ворон, скворцов, краковых уток, отчасти грачей. Все они, поселившись в городе, утратили способность мигрировать. Появилась и экологическая изоляция от коренных, — городских популяций, главным образом — по времени гнездования: весна в городе наступает значительно раньше, чем в пригородах, и гнездование городских птиц начинается задолго до возвращения с зимовок негородских птиц. Например, серые вороны в городе начинают строить гнезда, по крайней мере, на две недели раньше, чем в пригородах, и есть основания предполагать, что этот разрыв увеличивается еще больше. Некоторые виды урбофилов еще не стали постоянными обитателями

Многие птицы издавна живут рядом с человеком и стали его спутниками или даже индивидентами. Другие только осваивают город, проявляя при этом изобретательность и порой даже изменяя поведение. Все эти снимки сделаны в городе (сверху вниз, слева направо): гнездо ласточки-касатки; чайки-клуши; серая ворона; сизые голуби; крапчатый селезень; кедровка у гнезда; гнездо зарянки; лебеди-шипуньи; городские воробьи; ушастая сова на чердаке; скворцы.

Фото Э. Н. Головановой, Г. Ф. Лендера, Н. Я. Литвинова, А. Н. Лихачева, В. Н. Машаткина, Р. Н. Скибневского, М. В. Штейнбаха.

городов, однако увеличение их численности показывает, что они хорошо приспособлены к жизни в городе, обеспечены кормом, укрытиями при гнездовании, защищены от хищников.

Третий вид птиц, связанный с жизнью в городе — урбофобы. Они не выдерживают условий жизни в городе и гнездятся в пределах города лишь постольку, поскольку в нем сохранились участки, характерные для их обитания вне города. В Москве таких птиц по числу видов большинство.

Трудно установить точную границу между птицами урбофилами и урбофобами. Мы принимаем за критерий динамику численности видов. Если численность вида в городе возрастает, при стабильности или уменьшении за его пределами, то это вид урбофильный. Если же численность в городе сокращается, а гнездящиеся особи встречаются все ближе к периферии города — это урбофобный вид. Конечно, такое деление птиц по их экологическим и эволюционным признакам далеко от совершенства. Городская ласточка, например, урбофильный, если даже не синантропный вид, однако она совершенно явно оттесняется городом от центра к периферии. Причина ясна. В центре города — асфальт, и не хватает материала для постройки гнезд. С другой стороны, ушастых сов в городе становится все больше благодаря обилию грызунов на пустырях и старых гнезд врановых, в которых гнездятся совы.

Птицы покидают города по меньшей мере по двум причинам, первая и основная — несоответствие требований вида и условий жизни в городе. Таких примеров множество, вот два наиболее давних: уже более полувека назад перестала существовать колония коршунов в Сокольниках и колония серых цапель в Серебряном бору. Вторая причина — общее падение численности вида в ареале или регионе, в которые входит и Москва. Именно в связи с этим в первой четверти XX в. в городе перестали встречать воронов (последнее гнездо в Нескучном саду было обнаружено в 1923 г.) и с середины века — соколов-сапсанов (последние гнезда их на высотных зданиях Московского университета были в 1954 г. и Смоленской площади — в 1955 г.).

Среди мелких воробьиных птиц средней полосы наиболее приспособились к жизни в городе в самых разнообразных условиях — зяблики. Предпочитают смешанные леса, зяблик, однако, селится и в чистых ельниках, и в светлых березняках. Численность зяблика — от числа всех лесных



Чайки разных видов в городе начали кормиться преимущественно отбросами. Эти илуши стали посетителями городской свалки в районе Купчина, Ленинград.

Фото Э. Н. Головановой

птиц, вместе взятых, составляет 20—40%. И тем не менее в городе зяблик далеко не самый многочисленный вид. Его много в лесопарках, он встречается в больших парках, но в парках такого размера, как Александровский сад, возле Кремля, его можно видеть не каждый год. Причина, по-видимому, в структуре популяции: пара от пары селится в пределах слышимости песни соседа, и для образования поселения нужна большая площадь. По той же причине, возможно, образованию популяции зябликов мешает городская шум. Сказанное о зяблике в значительной мере относится и к зеленушке. Однако в еловых насаждениях, а их немало в Москве, зеленушек становится все больше.

Для многих видов птиц город стал своего рода убежищем, «станцией переживания», так как здесь практически нет ядохимикатов и меньше хищников. Так, жаворонков и коростелей в черте города можно встретить чаще, чем в Подмосковье; постоянно гнездятся и птицы, редкие для Московской области: издавна на пустыре близ Раменок существует изолированная популяция бормотушек, на Люблинских полях орошения гнездятся кулики — трав-



ник, мородунка, здесь же самое северное гнездование ремеза, в то время как в Московской области известно только одно гнездование ремеза — на Оке.

В Москве появляются все новые виды, в том числе пустельга. Еще 10 лет назад этот вид был редким в городе и относительно редким в Московской области. Численность пустельг в Подмосковье возрастает медленно, а в Москве значительно быстрее. Птицы приспособились гнездиться на зданиях и охотиться на пустырях. Так, в 1979 г. маленькая колония пустельг из 3 пар разместилась на двух зданиях Московского университета. Анализ погадок взрослых и птенцов показал, что их пища почти полностью состояла из серых полевков, которых хищники ловили на незастроенном пространстве южнее университета.

Интересна история дубоносов. Долгие годы (около полустолетия) считалось, что они не гнездятся в Московской области. В 1964 г. в Ботаническом саду Московского университета (на Ленинских горах) поселилась одна, потом две пары. Птиц стали встречать летом и зимой в разных районах города. И вот сейчас дубонос если не обычная, то во всяком случае и не очень редкая птица в Москве. А из Подмосковья пока что нет сведений о гнездовании этого вида.

Птицы, сохранившие способность жить на небольших территориях, могут быть многочисленными, их численность в

Москве иногда во много раз превышает подмосковную популяцию. Таковы, например, соловьи в дендрарии Ботанического сада Московского университета, варакушка на некоторых участках берегов московских речек, а в некоторые годы дрозды-рябинники и белобровики в Главном ботаническом саду Академии наук СССР и в окрестностях университета.

Урбанизация во всем мире вызвала неожиданное и совершенно невиданное по своим масштабам размножение врановых птиц. Для разных городов мира преобладают разные виды врановых.

Первое непереносимое условие, чтобы вид закрепился в городе, — птицы должны преодолеть «фактор беспокойства», т. е. не бояться постоянного присутствия людей, в том числе около гнезда. Этот «психологический» барьер быстрее и успешнее многих других перешли серые вороны. И чаще всего именно они завоевывают город. Так произошло и в Москве.

Грачи обитают во многих городах. Благодаря своей колониальности они успешно отбиваются в гнездовое время от ворон, даже растаскивают в окрестностях колонии их гнезда для собственных построек. Однако в крупных городах грачи отеснены к окраинам: чтобы прокормиться, птицам нужны открытые пространства, расположенные не слишком далеко от колонии.

В Москве грачи весьма многочис-

ленны. С начала 70-х годов они начали зимовать в Москве, образуя большие не смешанные с воронами стаи, обитающие на окраинах города. С недавних пор грачи стали зимовать также в Варшаве. Кормятся они там не стаями, а рассредоточенно по всему городу стайками по несколько птиц, в том числе и в самом центре города. Гнездящиеся грачи — господствующий вид в г. Люблине (Польша), здесь их около тысячи, и они предпочитают центр города, а не окраины.

В Прибалтике появились в невиданном количестве стаи воронов, они собираются по несколько десятков, а иногда и сотен птиц, т. е. и здесь изменили свой обычной семейного обитания. На оз. Энгурес вороны уничтожают кладки уток, в других местах вредят посевам. Птицы начали гнездиться в Риге, и их численность в городе быстро возрастает. Заметно больше стало воронов и в Подмоскowie, и в Москве, где после более чем 50-летнего перерыва они снова начали гнездиться, пока еще на окраинах города.

Только, кажется, в Западном Берлине господствующим видом среди врановых стала сорока. Здесь, на площади города, вдвое меньшей Москвы, гнездится до полутора тысяч пар сорок, в то время как численность ворон не превышает 700 пар. Сорок в Москве также стало больше, но только на окраинах города; их численность здесь сейчас много выше, чем когда эти территории были пригородом.

В Харькове всего несколько лет назад стали гнездиться сойки. Сейчас их стало значительно больше и они существенно влияют на численность мелких птиц, гнезда которых они разоряют. Сведения о превращении соек в городских птиц поступают из многих городов зарубежной Европы.

Наконец, нам известен один город — Тарту — где практически единственным городским видом врановых птиц стала галка.

Почему именно врановые птицы стали господствующими видами городов? Прежде всего потому, что именно эта группа стоит на вершине эволюционного развития птиц, это своеобразные приматы птичьего мира. У врановых птиц превосходно развита рассудочная деятельность: птицы точно определяют степень опасности приближающегося человека, хорошо различают мужчин и женщин, взрослых и подростков.

Уже никого не удивляет ворона, которая на глазах у публики размачивает сухую корку хлеба в луже на тротуаре или у

подтекающего крана летнего водопровода. На крыше сарая или дома можно обнаружить целую батарею бумажных молочных пакетов с дырками, проклеванными сбоку. Это вороны добывали кусочки масла, неизменно остающиеся в пакетах, выброшенных в мусорный контейнер.

Удивительна способность ворон выбирать место для гнезда. Серая ворона, прославившая своей скрытностью в лесу, здесь словно нарочно демонстрирует гнезда, строя их на самых видных местах, например, на отдельном тополе против Киевского вокзала (1975 и 1979 гг.). А если гнездо в небольшом сквере, то не на деревьях внутри сквера, где оно будет совсем незаметно, а на крайнем дереве, да еще с угла, чтобы с разных сторон было видно: сквер против Киевского вокзала, у гостиницы «Украина» (с 1975 по 1978 г.), липа около памятника Пушкину (1979 г.), яблоня с угла сквера против Большого театра, выходящего на ЦУМ и Петровку (1977 г.) и т. д. Может быть, это делается, чтобы из гнезда наблюдать за поведением людей внизу?

Во всяком случае, на бульварах большого проспекта ворона предпочитает строить гнезда на деревьях, открытых со стороны проезжей части. На гнезде птицы всегда сидят хвостом к транспорту и головой в сторону тротуаров и пешеходной дорожки. Стоит сойти человеку с нее — ворона слетает с гнезда. Птицы на гнезде совершенно игнорируют городской транспорт, хотя гнезда расположены невысоко, немногим выше проводов троллейбуса, и из его окна видно, как ветер от машины качает ветки с гнездом и шевелит перышки на спине насиживающей птицы.

В свое время мы с недоверием относились к утверждению П. П. Смолина, что московские вороны выбирают открытые места гнездования, если они безопасны, например, на одиночных деревьях на

Зарянка свила гнездо в старой жестяной банке из-под краски.

В городе скворцы и дятлы кормятся в мусорных ящиках отбросами и мухами.

Серая мухоловка свила гнездо на вводе электропроводов в дом.

Фото М. В. Штейнбаза.





Тажная птица кедровка свила гнездо в кирпичной кладке, а для выстилки использовала материал, подобный которому вряд ли могла найти в лесу.

Фото В. Н. Машатина

территориях посольств¹. Однако, это именно так, и мы не можем даже категорически отвергнуть мнение П. П. Смолина, что ворона определяет безопасность места по наличию круглосуточного милицейского поста.

Существенно изменилась структура популяций. Раньше считалось, что вороны гнездятся изолированными парами на расстоянии 1—2 км. А. Н. Формозов в 1947 г. писал² о гнездовании в Москве немногих пар ворон на расстоянии примерно 0,5 км. Современные московские вороны не придерживаются этих норм. Расстояния между гнездами в 50 м уже не редкость на городских бульварах или в особенно удобных местах, например в ботанических садах.

На примере серых ворон можно видеть, как постепенно изменяются у них черты поведения. Московская популяция этих птиц сложилась за последние 10—15

лет. Вороны 50—60-х годов ничуть не похожи на современных. Постепенно уменьшаются размеры гнездовых участков пары. По крайней мере, в 10—15 раз (до 2—3 м) сократилось расстояние «допуска» человека вороной, сидящей на земле, что связано с расселением ворон на самых людных улицах и площадях столицы. Только в последние годы вороны научились охотиться на городских голубей и, что более досадно, на парковых белок. Так что ворона — городской хищник — постепенно становится не только все более многочисленным видом, но и все менее терпимым в условиях города. Необычно быстрое размножение ворон в городе, изменение стереотипов поведения, в частности, территориальной и демографической структуры популяции, потеря перелетности — все это весьма напоминает явления, вызванные дестабилизирующим отбором, как его назвал Д. К. Беляев, который установил появление подобных признаков у чернобурых лисиц как следствие искусственного отбора наиболее спокойных, безбоязненных особей³. У таких особей изменялось не только поведение, но и ряд физиологических функций: сезонность и периодичность размножения, плодовитость. Но

¹ Моравов А. А., Смолин П. П. Зоол. ж., 1960, т. 39, вып. 8.

² Формозов А. Н. Фауна.— В сб.: Природа города Москвы и Подмосковья. М., 1947.

³ Беляев Д. К. Дестабилизирующий отбор как фактор изменчивости при доместикации животных.— Природа, 1979, № 2, с. 36.



Вороны доедают остатки содержимого молочных пакетов.

Фото В. Н. Машатина.

ведь и среди ворон в городе происходит отбор по степени синантропизации. Город предоставляет обильную пищу и безопасное существование тем воронам, которые спокойно относятся к человеку. Все «дикари» обречены на голод, так как в городе нельзя получить корм там, где нет людей, и наоборот, больше корма на людных улицах, дворах. Здесь же в наибольшей безопасности оказываются и гнезда. Можно представить себе, что и у ворон, как у птиц, отбор по поведению нарушает баланс выработки различных гормонов. Это порождает большой размах изменчивости, ее высокие темпы. И вот уже через один-два десятка поколений возникла новая форма городских (доместигированных) ворон, совсем не похожих по поведению и физиологии (а возможно, уже и морфологии) на представителей устойчивой лесной формы этого вида. Если все это действительно так, то только вернувшийся страх перед человеком может повернуть вспять прогрессирующий с необыкновенной быстротой процесс урбанизации городской популяции этого вида.

Московские синицы ведут себя по-особому. Они не совершают далеких сезонных перелетов, но и не оседлы. Они стали, так сказать, «местными перелетны-

ми» птицами. Осенью синицы собираются в город. Это потомки тех синиц «форточниц», которые кормились, воруя продукты, хранившиеся за форточкой. Сейчас этот промысел заглох: у всех москвичей холодильники, и найти продукты за окном — большая редкость. Теперь синиц подкармливают зимой на кормушках. Это дало птицам возможность не голодать зимой, и их стало больше. Весной синицы разлетаются из Москвы на гнездование в пригороды. Пролетные пути — парки, бульвары — преимущественно радиального направления. Здесь в разных концах города можно наблюдать интенсивное передвижение синиц в сторону от города.

Имеются случаи своеобразной «мутации» поведения птицы в городе. Л. Л. Семаго описывает образование оседлой популяции большой синицы в Воронеже⁴. До 1955 г. это был лишь зимующий в городе вид. Однако синицы начали гнездиться в металлических и бетонных фонарных столбах, в пустотах стен каменных зданий до высоты 10—12 м на самых оживленных магистралях центральной части города. Зеленый мох в гнезде заменен здесь тонки-

⁴ Семаго Л. Л. Образование оседлой популяции большой синицы в Воронеже. VII Всесоюзная орнитологическая конференция. Тезисы доклада, ч. I. Киев, 1977.



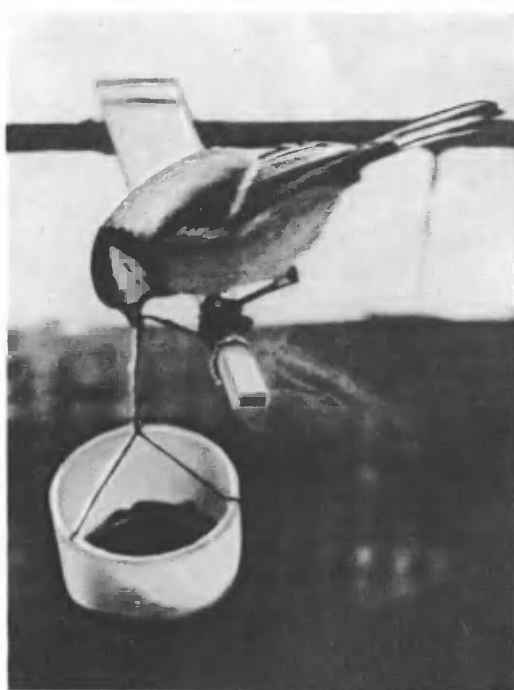
Пример развития рассудочной деятельности большой синицы. Фотографии показывают, как синица приспособилась доставать корм из полиэтиленовой кормушки, подвешенной на палочке.

Фото Н. И. Татаринцева.

ми травинками, а выстилка лотка состоит из собачьей шерсти.

Так же, как и вороны в Москве, оседлые синицы в Воронеже образовали свою особую популяцию, которую весной не увлекают за собой зимующие в городе синицы. Будем надеяться, что и в Москве образуется такая же городская популяция больших синиц. Может быть, она уже есть: в 1980 г. пара синиц гнездилась в скворечнике на балконе второго этажа в районе новостроек и на очень открытой местности — на площади возле универсама «Лейпциг».

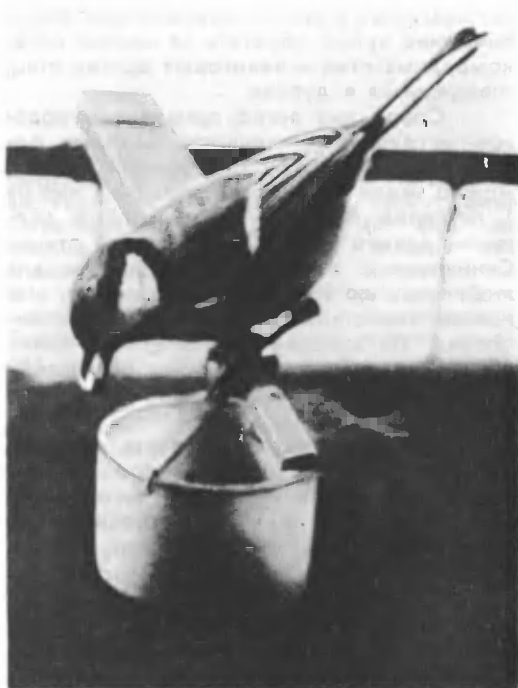
Москва стала местом зимовки многих птиц. Все также с конца октября по начало марта живут в городе смешанные стаи ворон и галок. Ночуют они на кладбищах, на деревьях городских парков, а в особенно морозные ночи — и на зданиях, нередко в самом центре города. Рано утром, еще в темноте, разлетаются вороны во все стороны от центра города к его окраинам, где есть свалки мусора. Летят



они вдоль радиальных улиц. После короткого дня кормежки, уже в вечерних сумерках, птицы тянутся обратно в город. Летят молча. Прилетев, рассаживаются на деревьях или домах поблизости от ночлега. На Преображенском кладбище большая ночевка, и вороны собираются вечером метров за двести от него на крыше высокого здания. Здесь они обмениваются информацией, с десяток тысяч ночлежников создают немалый шум своими криками, потом вдруг, как по команде (может быть, действительно по команде), вся черная громада замолкает, и все бесшумно слетают вниз к кладбищу и рассаживаются на деревьях.

Зимуют в Москве птицы — похлебители ягод. В городе плодоносят многочисленные теперь посадки рябины, и ягоды привлекают дроздов на пролете (в годы высоких урожаев рябины дрозды даже зимуют в Москве). Обычными зимовщиками стали свиристели. После суровой зимы 1978—79 гг., когда на севере вымерзли плодовые почки рябины и ягоды не уродились, свиристели появились в Москве еще в двадцатых числах сентября, на полтора-два месяца раньше обычного.

На рябинах же, сирени, ясенях и татарском клене всю зиму иногда держатся снегири. Чиж и чечетки на кочевках соби-



раются громадными стаями на березовых аллеях Юго-Запада столицы.

До недавнего времени фауна города изменялась, но не становилась беднее по числу видов птиц и по численности особей. Сейчас намечился спад численности некоторых видов. Одна из причин этого — увеличение числа хищников в городе. Постоянным остался в городе пресс полудомашних кошек, т. е. кошек, которых хозяева выпускают на ночь на улицу. Несравненно меньше одичавших кошек, соответственно и вред от них меньше. В целом кошки более чем какой-либо другой фактор формируют состав птиц города, из него изымаются все виды, гнездящиеся на земле или невысоко на кустарниках, а в период вылета птенцов в ряде мест, например в озелененных дворах, кошки уничтожают слетки всех видов мелких птиц, кроме воробьев. Это не удивительно, так как на 1 га озелененного двора можно насчитать вечером до десятка кошек; плотность хищников в 400 раз превышает наиболее высокую плотность куниц в лесу.

Однако городские вороны, вероятно, сильнее, чем кошки, подрывают благополучие птиц города. Кольчатая горлица, например, уже несколько лет назад поселилась в Москве, но численность ее не возрастает, встречи с горлицей все еще еди-

ничны. Гнездо у них открытое, птенцы беззащитны при нападении ворон; видимо, это и препятствует быстрому росту численности горлинок, как это происходит в других городах страны, где вороны немногочисленны. Очевидно, первое мероприятие по упорядочению орнитофауны птиц города — защита ее от массовых хищников — кошек и ворон. Первостепенное внимание следует обратить на привлечение птиц, гнездящихся в дуплах.

В районах новостроек заботами новоселов в последние годы появились во множестве скворцы. Старый русский обычай привлекать скворцов возрожден в городском варианте. Поскольку, как правило, возле новых домов нет деревьев, кроме молодых посадок, скворечники здесь стали развешивать на балконах, и скворцы охотно приняли предложение селиться в столь необычных для них условиях. Известно заселение скворечников на балконах на 9 и даже 11 этажах, т. е. на высоте, совершенно не свойственной скворцам, гнездящимся в естественных условиях. Есть скворцы и в центре города, можно наблюдать их на газонах против Кремля, на территории Кремля, возле памятника Г. Димитрову на Б. Полянке и в других подобных местах. Еще 15—20 лет назад скворцы в городе, даже на его окраинах, были редкими пти-

цами. Сейчас в Москве это обычная птица. Внимание нужно обратить на мелких насекомоядных птиц и некоторых других птиц, гнездящихся в дуплах.

Среди них легко привлечь мухоловок-пеструшек, численность которых одной только развеской небольших гнезд, можно увеличить в сотни раз: 3—5 пар на 1 га парка, бульвара, озелененного двора — далеко не предел для этой птицы. Синичники с летком, уменьшенным для этой птицы до 28—30 мм в диаметре, становясь недоступными для городских воробьев. На массовое привлечение синиц разных видов, горихвосток, поползней, вертишейек и других мелких птиц, к сожалению, рассчитывать нельзя. Только большая синица может стать относительно многочисленным гнездящимся видом. На особом положении находится полевая воробей. В лесохозяйственном отношении он играет более положительную роль, чем его городской собрат. Установлено, что в борьбе с дубовой листоверткой полевые воробьи могут быть значительно более действенны, чем, например, ядохимикаты.

Из необычных птиц, гнездящихся в дуплах, следует назвать голубя-клинтуха и сову — серую неясыть. Оба эти вида гнездятся на территории Москвы, но в совершенно незначительном числе, видимо, из-за отсутствия в городских парках больших дупел, где они могли бы жить.

Среди околородных птиц особенного внимания заслуживают чайковые птицы, они очень красивы в полете, декоративные их качества неоспоримы. На водоемах юго-востока города несколько раз стихийно образовывались колонии озерных чаек (до 60 пар), но они неизменно погибали. Создать искусственно колонию этих птиц в городе не представляет особого труда. Причем колонию, конечно, нужно создавать смешанную: чаек (озерная, сизая, малая) и крачек (речная, черная, белокрылая). Особенно интересна для города малая чайка. В Московской области она редка, сравнительно большая колония (около полусотни птиц) гнездится лишь на Нарских прудах близ Кубинки и та, по-видимому, не будет сохранена, так как расположена на территории рыбхоза, где все чайковые по традиции 50-х годов еще считаются вредителями.

Водоплавающие птицы широко используются как декоративные птицы во многих городах мира. Особенно многочисленны водоплавающие птицы в Лондоне и в Западном Берлине, где значительную акваторию занимает водохранилище. В Мо-

ске два водохранилища и около 300 прудов. Кроме содержащихся полувольно лебедей, в городе много (не менее 3 тыс.) кряковых уток. Они были выпущены в водоемы города в 1958 г. Кряковые утки стали оседлыми и зимуют в городе на водоемах со сбросом теплых вод и на полях Москвы-реки. Гнездятся они даже у очень маленьких и открытых прудов. В последние годы значительная часть уток улетает на гнездование в окрестности города, например, на водоем Лосинога острова.

Число водоплавающих видов в Москве можно значительно умножить за счет привлечения или интродукции диких птиц. В свое время орнитологи Риги завезли в город и выпустили на канал в центре города утят разных видов, они прижились и образовали городские популяции уток. Такой метод применим и в Москве. Однако, в первую очередь, хотелось бы увеличить численность гоголя — утки, гнездящейся в дуплах. Эти птицы с недавних пор стали размножаться в зоопарке (сохранив при этом перелетность) и частенько улетали на городские пруды, около которых гнездились на чердаках близлежащих домов. Гоголята, прыгая с высоты многоэтажного дома, как в природе из дупла, не разбиваются об асфальт, и самка отводит их к пруду. Таким же образом в Москве гнездятся иногда также и огари.

Во многих городах мира обычной птицей стала лысуха. Это по преимуществу растительноядная птица, для существования которой нужно лишь позаботиться о предоставлении мест гнездования.

Городская орнитология, так же как сельскохозяйственная и лесная, имеет свои задачи и методы и сейчас все более привлекает внимание специалистов. Необходимость управлять орнитофауной в городах стала совершенно очевидной. Мы не можем уже, пренебрегая всеми законами биологии, заниматься озеленением городов и оставлять без какого-либо внимания животный мир, в первую очередь птиц, группу наиболее заметную и экологически важную. Кое-что уже сделано. В лесопарковых хозяйствах зеленой зоны столицы утверждена должность дипломированного зоолога, преимущественно орнитолога. На фоне громадных штатов озеленителей всяких рангов и специальностей это еще очень мало, но важно, что начало положено. У фауны города должен быть разумный хозяин, так как она в такой же мере, как и флора, должна развиваться не стихийно, а планомерно, в интересах жителей города.

К 150-летию открытия электромагнитной индукции

Г. К. Церава
Бокситогорск

Существует много путаницы в освещении открытия Джозефом Генри (1797—1878), независимо от М. Фарадея, индуцированных токов.

Предпринятое в 1972 г. Смитсоновским институтом в Вашингтоне 15-томное издание «Бумаг Джозефа Генри», из которых вышло в свет пока три тома¹, охватывает период с первых лет жизни ученого до 1838 г. и позволяет с помощью документов сопоставить его исследования по электромагнетизму с исследованиями Фарадея и других.

Хорошо известно, что Фарадей открыл явление электромагнитной индукции 29 августа 1831 г., а 24 ноября того же года доложил об этом Лондонскому Королевскому обществу.

Преобразование магнетизма в электричество занимало и Генри, бывшего в начале 30-х годов преподавателем физики гимназии повышенного типа (академии) в Олбани, штат Нью-Йорк. Согласно «Бумагам», электромагнитные исследования были начаты Генри в 1827 г. и заключались в разработке мощных и экономичных подковообразных электромагнитов, где впервые он применил изолированный провод, многослойную и катушечную обмотки. Первое упоминание о начале исследований по «получению электричества из магнетизма» (т. е. электромагнитной индукции) мы находим в его письме от 16 ноября 1831 г. учителю физики П. Кливленду: «Недавно я отковал большую подкову весом 101 фунт, которую намерен

использовать для некоторых поучительных экспериментов, касающихся тождественности электричества и магнетизма». Через десять с лишним лет после открытия Эрстедом действия электрического тока на магнит, речь в этой фразе могла идти только о попытке наведения электричества с помощью магнетизма. Однако, по не установленным причинам, Генри был вынужден еще в сентябре 1831 г. прекратить эти «поучительные эксперименты», и вернулся к ним лишь спустя девять месяцев, т. е. уже после открытия Фарадея.

28 июня 1832 г. Генри извещает вице-президента Принстонского колледжа Дж. Маклина: «Последние две недели я был занят серией опытов для публикации в очередном номере журнала Силлимена, которыми была заполнена буквально каждая минута... На днях я добился успеха в очень интересном эксперименте по получению электрических искр из магнита. Я надеюсь, что смогу расплавить платиновую проволоку посредством найденного принципа». Следовательно, Генри открыл электромагнитную индукцию между 14 и 28 июня 1832 г. До Генри уже доходили слухи о таких же работах в Европе, он торопился, но опередить Фарадея уже не смог. Его статья «О получении электрических токов и искр из магнетизма» была напечатана в июльском номере журнала Силлимена и помещена между рефератами первой и второй серии «Экспериментальных исследований» Фарадея. В Европе работа Генри прошла незамеченной. Ее русский перевод вышел лишь в 1936 г. как приложение к книге М. Радовского «Фарадей» (М., 1936, с. 166—174).

Из письма Генри к Силлимену от 18 апреля 1833 г. видно, что с «Экспериментальными исследованиями» Фарадея он смог ознакомиться толь-

ко осенью 1832 г., уже после публикации своей статьи. В те же июньские дни 1832 г. Генри открыл никем до него не наблюдавшееся явление самоиндукции и экстратоки и установил факторы, влияющие на величину индуктивности цепи. Повторно явление самоиндукции было обнаружено осенью 1834 г. В. Дженкинсом в Англии, исследовано Фарадеем и описано им в девятой серии «Экспериментальных исследований». В данном случае Генри опередил британского коллегу. В 1893 г. единица индуктивности в честь первооткрывателя была названа «генри». Отличие опытов Генри от фарадеевских заключалось в их большей эффективности. Генри догадался об огромных преимуществах сильных электромагнитов, существенно облегчавших выявление динамической основы процесса. Минутя промежуточные подходы Фарадея, Генри обнаружил электромагнитную индукцию сразу, воспользовавшись, как мы бы теперь сказали, принципом трансформатора, к которому Фарадей пришел лишь спустя некоторое время.

Генри нередко называют «американским Фарадеем». Однако о том, кому пришлось больше надеяться на свои силы и способности, говорят такие факты: Фарадею посчастливилось рано приобщиться к культурным центрам Европы, с первых шагов в науке постоянно общаться с такими крупными естествоиспытателями, как Г. Дэви, У. Волластон, Дж. Даниель, П. Барлоу, У. Риччи, У. Стерджен. Общался он с А. Ампером и другими выдающимися учеными континента. В его распоряжении была первоклассная лаборатория Королевского института. Ничего подобного не было в Олбани. Талант Генри мужал в одиночку. Учителя его и сотоварищи по академии и местному научному обществу были заурядными людьми.

¹ The Papers of Joseph Henry. Washington, 1972, v. 1; 1975; v. 2; 1979, v. 3.

Защита против цунами

С. Л. Соловьев



Сергей Леонидович Соловьев, член-корреспондент АН СССР, заведующий лабораторией сейсмологии Института океанологии АН СССР им. П. П. Ширшова. Специалист в области сейсмологии и морской геофизики. Участвовал в создании службы предупреждения населения Тихоокеанского побережья СССР о приближении цунами и в течение 15 лет руководил ею.

ГДЕ ВОЗНИКАЮТ ЦУНАМИ?

Среди явлений природы, катастрофических по своим последствиям для человека и творений его рук, особое место занимают разрушительные морские волны, причина которых подводные землетрясения и, изредка, вулканические извержения. С середины XX в. за ними закрепился японский термин «цунами», в переводе на русский «волны в гавани».

Очаги сильных подводных землетрясений кольцом охватывают Тихий океан. Этот пояс тянется по островным дугам — Алеуто-Аляскинской, Курило-Камчатской, Японской (Хонсю) и др., располагающимся в так называемой зоне субдукции, где, согласно теории тектоники плит, одна литосферная плита поддвигается под другую. Пояс продолжается в подобных зонах на западе и юго-западе Тихого океана и затем вдоль побережий Южной и Центральной Америки. Ответвлениями Тихоокеанского кольца сильных землетрясений и цунами можно считать часть Индонезии в Индийском океане и острова Карибского моря в Атлантическом. Сильные подводные землетрясения, сопровождающиеся цунами, изредка происходят и в других местах Индийского и Атлантического океанов, например в Аравийском и Средиземном морях, но все же цуна-

ми — явление прежде всего свойственное Тихому океану. На его долю приходится более 80% цунами.

Цунами известны человечеству с глубокой древности. Древнейший рассказ о цунами был найден археологами при раскопках поселка Ра-Шамра в Сирии. На глиняных табличках клинописью рассказывается об уничтожении столицы государства Угарит неожиданной волной невиданной высоты. По-видимому, речь идет о катастрофическом цунами, образовавшемся в Восточном Средиземноморье при взрыве вулкана Санторин в 1400—1500 г. до н. э.

На Камчатке, Курильских и Алеутских о-вах цунами стали известны сразу после открытия, исследования и присоединения к России этих территорий. В октябре 1737 г. катастрофическое цунами обрушилось на Тихоокеанское побережье юга Камчатки и севера Курильских о-вов. В июле 1788 г. сильнейшее землетрясение возникло у юго-восточного побережья Алеутских о-вов и Аляски. Один из первых исследователей Аляски миссионер И. Вениаминов писал в 1840 г., что при наводнении 1788 г. на о-ве Унге погибло много алеутов и что вода возвышалась до 50 сажен (более чем 100 м).

В Центральной и Южной Японии сохранились записи о цунами с VII в.,

в Центральной и Южной Америке и на Филиппинах — со времен открытия и завоевания побережий испанцами, т. е. с XVI и XVII вв., в Индонезии — с момента появления там голландцев, т. е. с XVII в. Цунами на Тихоокеанском побережье США и на Гавайских о-вах стали описывать практически с начала XIX в., на юго-западе Тихого океана (от Новой Гвинеи до Новой Зеландии) и в Канаде — со второй половины XIX в. Помимо упомянутых выше, можно назвать еще десятки сильных цунами.

ИНТЕНСИВНОСТЬ И ПОВТОРЯЕМОСТЬ ЦУНАМИ

Для классификации цунами рядом специалистов, включая автора этих строк, предложена полуколичественная шкала интенсивности цунами, исходящая из высоты подъема воды на берегу. При увеличении средней (вдоль берега) высоты наводнения вдвое интенсивность цунами возрастает на 1 балл.

Катастрофическим цунами соответствует максимальная интенсивность 4. При таком цунами на участке побережья длиной 400 и более километров средний подъем воды достигает 8 м. Местами волны имеют чудовищную высоту — 20—30 м. Такие цунами разрушают практически все сооружения на берегу, выкорчевывают деревья, смывают почву, увлекают за собой на сушу или в океан суда любых размеров, стоящие у берега. Побережье затопляется, особенно по долинам рек, на многие километры. Иногда на месте поселений остаются ровные площадки, покрытые песком или глиной. Цунами интенсивностью 4 в той или иной форме фиксируются по всему побережью Тихого океана.

Интенсивность 3 соответствует очень сильным цунами. На участке побережья протяженностью от 200 до 400 км вода в среднем поднимается на 4—8 м, а местами до 11 м. При таком цунами все строения повреждаются, наименее прочные полностью разрушаются. Затопление суши весьма значительно, хотя и не так велико, как в предыдущем случае. Почвенный покров размывается. Суда, кроме самых крупных, цунами выбрасывает на берег или увлекает в океан. Все побережье захламляется обломками сооружений, покрывается морскими животными. Эти цунами наблюдаются на значительной части океана.

СВИДЕТЕЛЬСТВА ОЧЕВИДЦЕВ

«Через пришедших из Курил... людей известился я, что там великое потрясение земли было..., а потом как перестало трясение, то воды вдруг с моря с великим шумом сажени на три прибыло, которая тотчас опять в море ушла. По сбежании воды в другой раз земля тряслася, только очень легко, а после опять вода с моря до того же места пришла, где в первый раз была, и так же, как и первая, нимало не стояв в одной мере, в море ушла так далеко, что в проливе, который между первого и другого острова имеется (Второй Курильский пролив), камень великой дикой на сажень сверх воды виден был. Спусти с четверть часа в третий раз воды моря с превеликим шумом сажени на десять выше прежних мест прибыло, которою многие иноземческие жилища унесло. Она вода, нимало не стояв, опять в море убежала и, ставши на море, чрез два дня то убывала, то прибывала».

Из письма первого исследователя Камчатки С. П. Крашенинникова, высадившегося на Камчатке 14 октября 1737 г., через восемь дней после цунами, на юге Камчатки и севере Курильских о-вов. Крашенинников в С. П. Описание земли Камчатки. Изд. 4-е с приложением рапортов, донесений и других неопубликованных материалов. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1949.

«Было землетрясение великое, и думали, скоро ли земля провалится. Нельзя было на ногах стоять. И не успели после трясения в чувство прийти, как с моря сделалось наводнение..., всяк человек искал место, чтобы спасти свою жизнь... Снесло баробору с оставшимся товаром и прочее мелкое строение с палисадом. На огороде Вашем землю с овощем всю снесло, а на то место нанесло дресвы и прочее ямами вырыло. Возвышение воды было почти до половины Вашей горницы окошек. С великою быстриною только вода недалго была: больших волн было две, а прочие помене...»

Из письма одному из первооткрывателей Алеутских о-вов и основателей Российско-Американской компании Г. И. Шелехову его доверенного лица на о-ве Кадьяк, в «Гавани трех святителей». Соловьев С. Л. Санак-Кадьякское цунами.— В сб.: Проблема цунами. М.: Наука, 1968.

Сильные цунами имеют интенсивность 2. Средний подъем воды на побережье длиной 80—200 км равен 2—4 м, в отдельных местах 3—6 м. Повреждаются непрочные строения вблизи берега, например вымываются первые этажи легких каркасных зданий. Размывается грунт, переносятся на берег или в море все мелкие суда и большие парусники. Заметно затопляется берег. Цунами регистрируются приборами (мареографами) в большей части океана.

Интенсивность 1 характеризует умеренные цунами. Вода поднимается на высоту порядка 1—2 м на протяжении 20—80 км. Как правило, эти цунами замечаются по обратному течению рек. Затопляются только низменные участки побережья. Сооружения не разрушаются, но легкие постройки у берега могут повреждаться. С берегов смываются разнообразные предметы, на берег выбрасываются легкие суда и лодки. Вдали от очага цунами не наблюдаются и не регистрируются.

Интенсивность 0 имеют слабые цунами с высотой подъема воды около 1 м. Прочие цунами, не замечаемые человеком и регистрируемые только мареографами, с высотой воды от 30—40 см до 1 мм имеют интенсивность от —1 до —5.

Очевидно, чем сильнее цунами, тем реже они происходят, и наоборот. Сеть мареографов на побережьях Тихого океана, следящих за колебаниями его уровня, недостаточно густа, и, видимо, далеко не все слабые цунами, с высотой в сантиметры, регистрируются приборами. Даже многие цунами с высотой в десятки сантиметров проходят незамеченными.

Автор этих строк дважды оценивал повторяемость цунами: за период с исторических времен и по 1968 г. и за 1969—1978 гг. как для Тихого океана в целом, так и для его отдельных зон¹. Для океана получились следующие соотношения:

$$I_{gt} = -(0,20 \pm 0,15) \pm (0,29 \pm 0,06) I, I > 0,$$

$$I_{gt} = -(0,32 \pm 0,09) \pm (0,27 \pm 0,06) I, I > 0,$$

где t — средний промежуток времени, в годах, между последовательными цунами интенсивностью $I > 0$. Коэффициенты при интенсивности 1 оказались практически идентичными, что говорит о достоверности вычислений, а постоянное слагаемое второго уравнения получилось несколько меньше (повторяемость цунами в среднем в 1,5 раза выше), но эта разница почти не выходит за область погрешностей расчетов.

Таким образом, тенденция образования цунами в Тихом океане, по крайней мере, не ослабевает, а, возможно, и усиливается. В среднем цунами с интенсивностью 4 происходит в Тихом океане раз в десять лет, с интенсивностью большей или равной 3 — раз в три года, с интенсивностью большей или равной 2 — раз в год, с интенсивностью равной 1 — два раза в год, с интенсивностью равной нулю четыре раза в год. Обобщение накопленных данных позволяет считать, что чаще всего цунами появляются на Камчатке, Курильских о-вах, о-ве Хоккайдо, северо-востоке о-ва Хонсю,

¹ Соловьев С. Л. Повторяемость землетрясений и цунами в Тихом океане. — Тр. Сахалинского комплексного НИИ, 1972, вып. 29.

Хронология крупнейших цунами мира

24.VIII 358 г. при большом землетрясении в Средиземном море вода далеко отступила, суда оказались на мели; в Александрии вслед за отливом пришла огромная волна, которая вынесла большие и малые суда на побережье.

13.VII 869 г. на северо-восточное побережье о-ва Хонсю после сильнейшего землетрясения на протяжении сотен километров обрушилось сильное цунами; разрушены сотни деревьев; погибла тысяча человек.

14.IX 1509 г. большая волна, возникшая после землетрясения, перекаталась через городскую стену Константинополя.

В 1562 г. при разрушительном землетрясении на юге Чили цунами охватило побережье на протяжении 1200 км, погибло много людей.

9.VII 1586 г. сильное землетрясение в Перу охватило участок побережья длиной 1000 км. В Кальяо уровень океана упал на 14 м, а затем поднялся на 24 м. Смыты береговые дамбы, деревья и кусты вырваны и унесены водой. В Японии, на северо-востоке

о-ва Хонсю это цунами имело высоту 1—2 м.

24.XI 1604 г. произошло землетрясение на границе Перу и Чили. В Арике океан отошел «на два выстрела мушкета далее обычных отливов», а затем 2 раза нахлынул на город, смыв большую часть его. Цунами затопило побережье от Кальяо до Концепсьона на протяжении не менее 1200 км.

31.I 1605 г. катастрофическое землетрясение на юге о-ва Хонсю вызвало цунами высотой до 30 м. Нанесен огромный ущерб, погибли тысячи жителей.

2.XII 1611 г. произошло сильное землетрясение на о-ве



Цунами подходит к Усть-Камчатску.

Фото Н. Н. Баладина.

о-ве Новая Британия, северё Соломоновых о-вов, затем на Аляске и Алеутских о-вах, на юге Японии, юге Филиппин, в ряде мест Индонезии, в Чили и Перу и т.д.

На Тихоокеанском побережье СССР с начала XVIII в. по 1980 г. отмечено 60 до-

стоверных случаев цунами, в том числе 30 разрушительных или потенциально разрушительных (с подъемом воды на берегу более 1 м).

Самым сильным из них, несомненно, было уже упоминавшееся цунами 1737 г., а самым тяжелым по последствиям — во многом похожее на него — цунами в ночь с 4 на 5 ноября 1952 г. на юге Камчатки и севере Курильских о-вов, смывшее Северо-Курильск и другие поселения.

Хонсю, на побережье Санрику. Цунами высотой порядка 25 м местами проникало в глубь суши на 4 км; тысячи жителей унесены водой.

1.VIII 1627 г. во время стоянки испанского флота в Банги на севере о-ва Лусон на Филиппинах произошло сильное землетрясение, цунами затопило сушу на 4 км, волны вырвали деревья с корнями.

1.VIII 1629 г. сильное землетрясение с очагом у о-вов Банда на востоке Индонезии вызвало приливную волну высотой 16 м над границей весенних приливов, которая смыла укрепления и дома.

20.X 1687 г. произошло

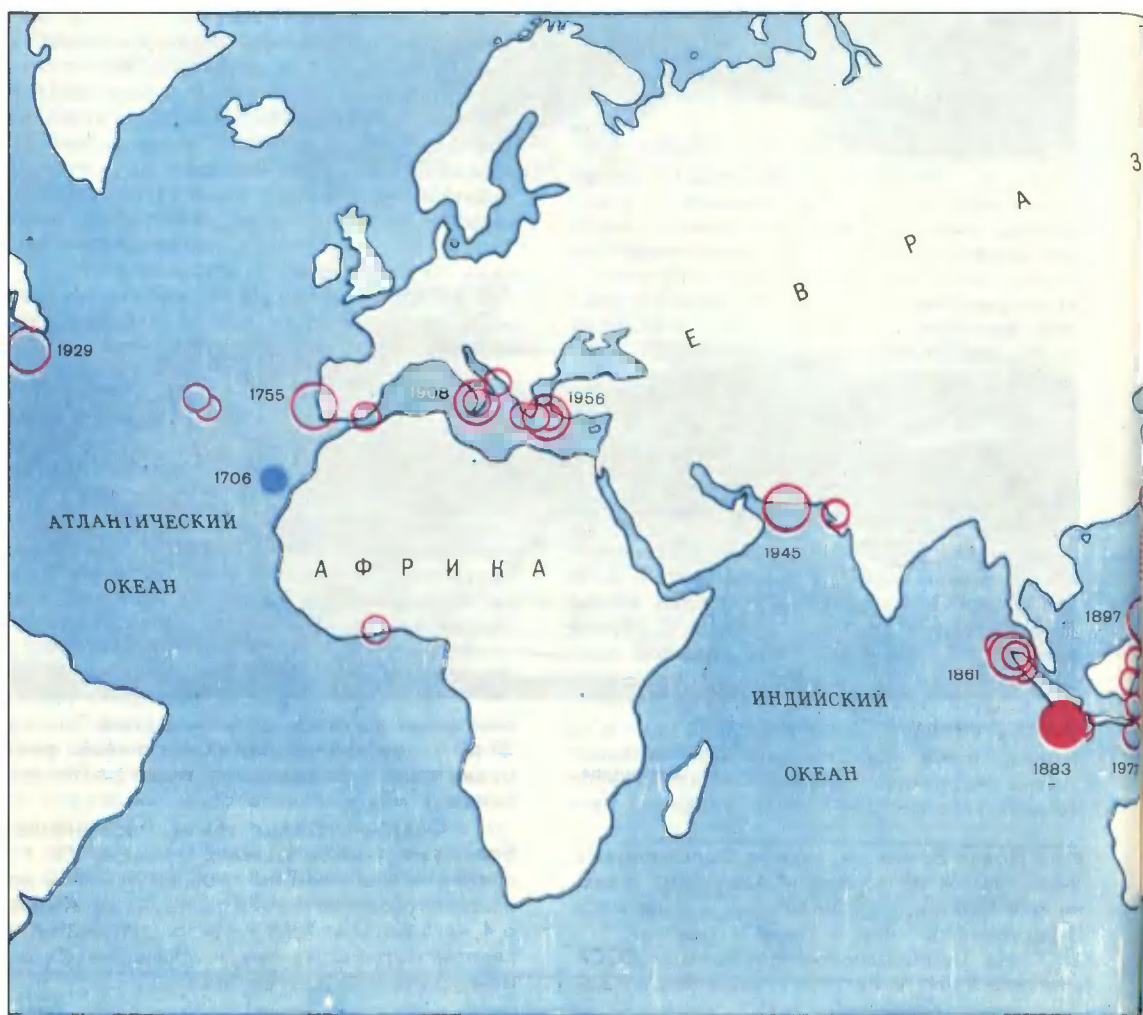
сильное землетрясение в Перу, южнее Лимы. Океан затопил побережье между Чанкаем и Арекипой; погибло 5 тыс. жителей; цунами наблюдалось также на о-вах Рюкю и северо-востоке о-ва Хонсю.

28.X 1707 г. при катастрофическом землетрясении на юге о-вов Хонсю, Сикоку и Кюсю цунами обрушилось на побережье длиной более 1000 км. Разрушено или смыто почти 3 тыс. домов, погибло около 5 тыс. человек. Максимальный подъем воды достигал 25 м.

8.VIII 1730 г. при сильном землетрясении в Чили, примерно между 30 и 36° ю. ш. разру-

шительное цунами охватило побережье на протяжении более 1 тыс. км. Были затоплены и разрушены Вальпараисо, Консепсьон и др. города. На северо-востоке о-ва Хонсю затоплены дома и рисовые поля.

28.X 1746 г. при сильном землетрясении в Перу с эпицентром в районе Лимы океан поднялся на 10 м, а затем на 25 м и полностью смыл порт Кальяо с населением в 5 тыс. жителей. На месте города осталась площадка, покрытая морской глиной и галькой. Разрушены и многие другие перуанские прибрежные города. В Мексике, в Акапулько, цунами выбросило на берег судно.



Распространение и характеристика цунами по силе и происхождению. Размер значка примерно соответствует интенсивности цунами: большой кружок — интенсивности 3—4, малый — интенсивности 2—3 [по Атласу океанов, М., 1974, 1977; с дополнениями автора].

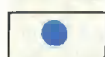
Причины, вызвавшие цунами:



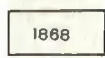
землетрясение



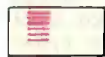
изменение рельефа дна океана в результате вулканического извержения



вулканическое извержение



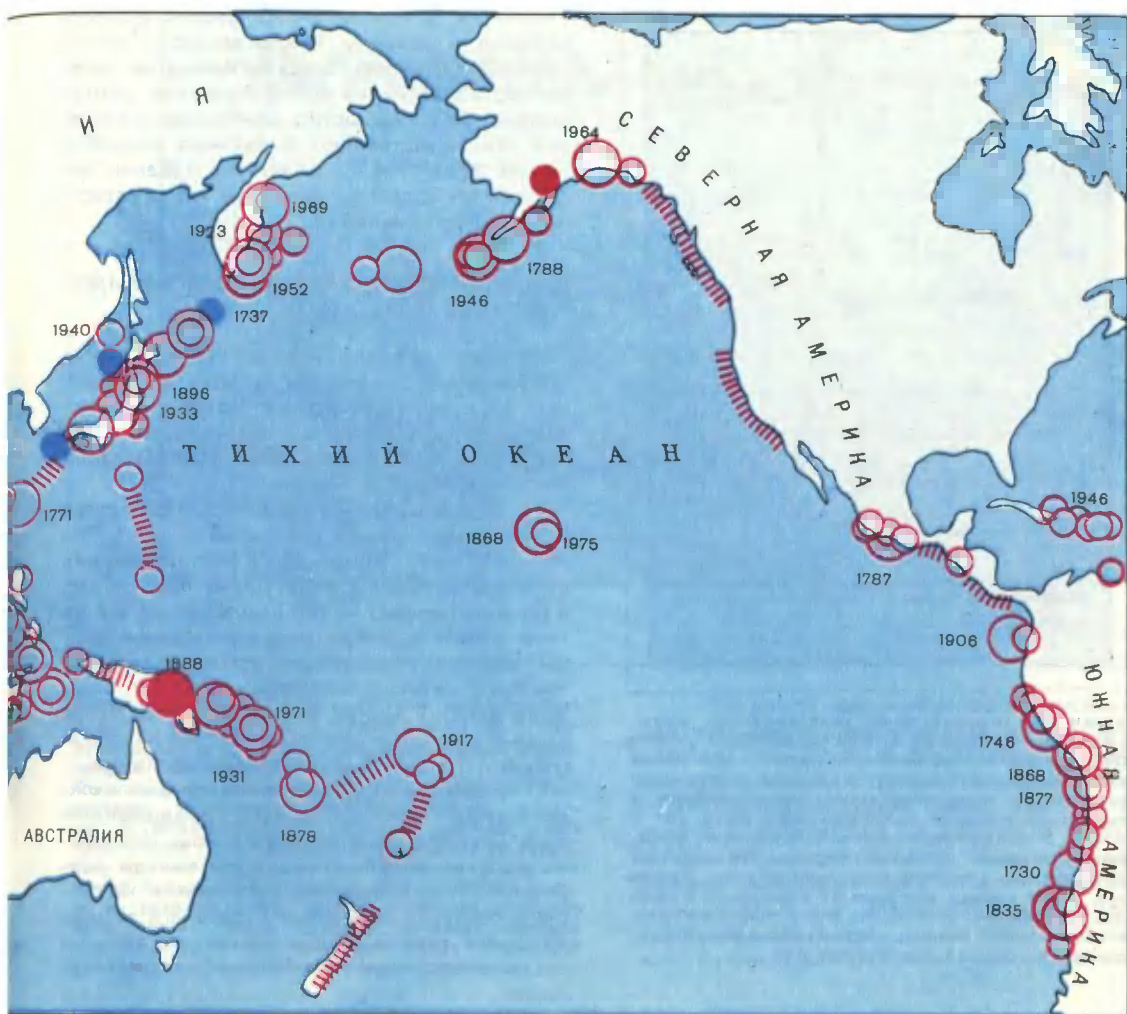
даты наиболее известных цунами



зона возникновения слабых цунами в Тихом океане

24.V 1751 г. при разрушительных землетрясении и цунами на юге Чили был затоплен и частично разрушен Консепсьон, где подъем воды местами достигал 17 м. На о-вах Хуан-Фернандес погибли губернатор с семьей и еще 15 человек. На северо-востоке о-ва Хонсю затопило дома.

1.XI 1755 г. сильнейшее землетрясение разрушило Лиссабон. Через час-полтора вода начала уходить из р. Тежу, а затем на город накатились вспененные валы высотой более 15 м. Из 50 тыс. жителей, по некоторым оценкам, погибло 20 тыс. Все 300 судов, стоявших в гавани, затонули



или были разрушены. В испанском порту Кадис вода поднялась на 18 м и проникла на 15 км в глубь суши. Волны наблюдались во Франции, Англии, Германии и пересекли Атлантический океан; на Антильских о-вах подъем воды местами достигал 6 м.

24.IV 1771 г. на юг о-вов Рюкю после сильного землетрясения накатило цунами высотой до 15 м; было смыто более 3 тыс. домов, погибло 12 тыс. человек.

6.V 1773 г. во многих местах северного побережья Африки наблюдалось цунами высотой 2 м, а в Танжере — около 10 м.

10.II 1797 г. сильное землетрясение на западном побережье о-ва Суматра и о-вах Бату сопровождалось цунами. Затоплен Паданг, погибло около 300 человек, одно судно занесено в глубь суши на 5 км.

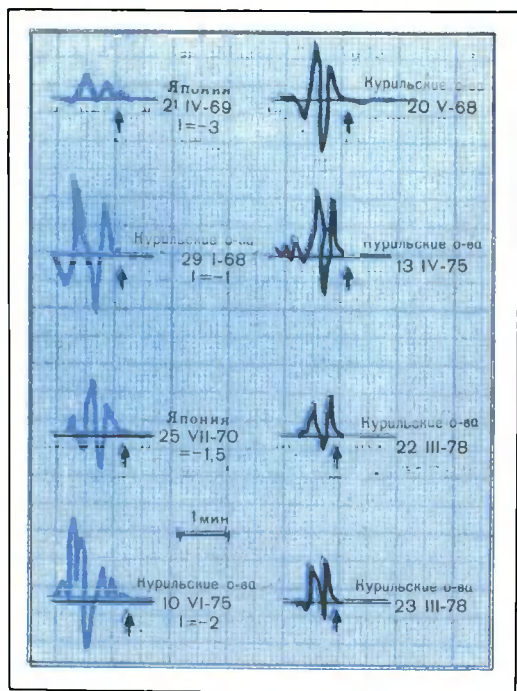
29.XII 1820 г. произошло сильное землетрясение на юго-западе о-ва Сулавеси. Поступившая водяная стена высотой 20—25 м разрушила форт и деревни; утонуло 500 человек. На юге моря Флорес выбросило на берег суда.

В 1821 г. при землетрясении на о-ве Занте в западной Греции многие дома унесе-

ны цунами в море или разрушены.

7.XI 1837 г. произошло сильное землетрясение на крайнем юге Чили. Сильное цунами наблюдалось на о-ве Чилоэ, в Вальдивии, в Океании на о-вах Мангарева, Таравай, Самоа, Тонга, Гавайских, в Японии.

23.XII 1854 г. сильнейшее землетрясение на юге о-ва Хонсю вызвало значительное цунами. Разрушено и смыто около 8,3 тыс. домов; погибло не менее 600 чел. Особенно пострадала Симода, где вода поднялась на 10 м; в частности, было разбито судно «Диана» с русской дипломатической



Записи продольных волн землетрясений, вызывающих цунами [слева] и не вызывающих цунами [Обсерватория «Обнинск»; длиннопериодный сейсмограф]. Стрелки показаны вступления продольных волн. Магнитуда землетрясения у всех землетрясений примерно одинакова [от 7 до 7,2]. У продольных волн землетрясений, вызывающих цунами, больший период [промежуток между первым и третьим пиками колебаний]. Кроме того, у них первый пик меньше второго, а второй меньше третьего, в то время как у землетрясений, не вызывающих цунами, максимум колебаний приходится на первый или второй пик.

миссией адмирала Путятина. На о-вах Бонин вода поднималась на 4,5 м. Цунами наблюдалось в США и, возможно, в Китае.

24.XII 1854 г. произошли еще более сильное землетрясение и цунами с очагом, сдвинутым на запад. Было смыто около 15 тыс. домов, погибло около 3 тыс. человек; пострадали суда, дамбы, дороги, поля. Цунами отмечено в США.

16.II 1861 г. землетрясение исключительной силы на западе о-ва Суматра привело океан «в движение», вода поднималась не менее чем на 7 м, были затоплены и разрушены прибрежные поселения на огромном протяжении. Даже на

северном побережье о-ва Ява вода поднималась на 1,5 м.

2.IV 1868 г. произошло разрушительное землетрясение и цунами с очагом юго-восточнее о-ва Гавайи. Вода поднималась, возможно, до 18 м. Смыто более 100 домов, утонуло около 50 жителей. Цунами зарегистрировано в США.

13.VIII 1868 г. возникло разрушительное землетрясение и катастрофическое цунами с очагом на юге Перу. Средний подъем воды от Чалы и Ислая до Икике, возможно, превышал 10 м. Арика, где вода поднималась на 15—18 м, была полностью смыта; на месте города осталась ровная песчаная

долина без всяких следов застройки. Стоявшие на рейде три военных корабля выброшены на берег. В Южной Америке от цунами и землетрясения погибло 25 тыс. человек. Цунами проявилось практически по всему Тихому океану и продолжалось не менее 2—3 суток, в том числе в Новой Зеландии и на Гавайских о-вах вода поднималась до 4—5 м.

9.V 1877 г. еще одно разрушительное землетрясение и катастрофическое цунами с очагом, сдвинутым южнее, произошло в Южной Америке (на севере Чили). В очаговой области (Икике и др.) вода поднималась на 10 м. На побе-

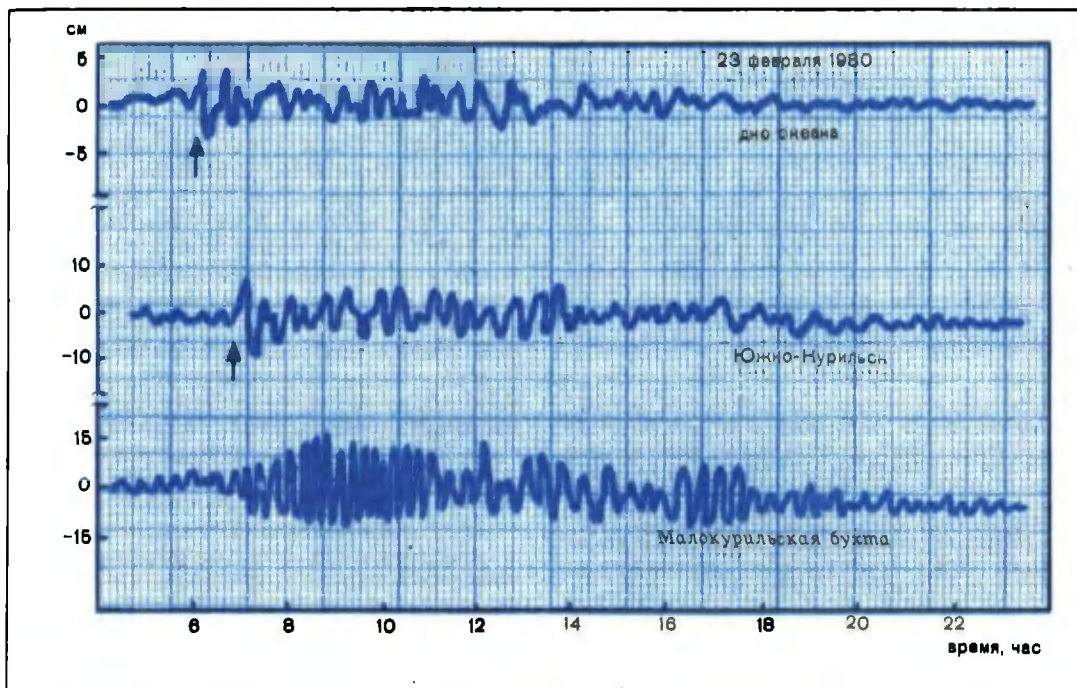
Неизбежность и в будущем возникновения цунами у Тихоокеанского побережья Курильских о-вов и Камчатки, внезапность появления волн, огромная разрушительная сила быстро движущейся водяной стены заставляют энергично разрабатывать защитные меры против цунами, несмотря на большую редкость этого катастрофического явления.

КАК ПРЕДУПРЕДИТЬ О ПРИБЛИЖЕНИИ ОПАСНОСТИ?

Для предупреждения населения о приближении опасности можно использовать то небольшое время, которое протекает между появлением возмущения воды над очагом землетрясения и приходом фронта цунами к берегу.

Очаги цунами удалены от побережья Курильских о-вов и Камчатки на 100—150 км, скорость распространения волн по глубокой воде равна 800 км/час, а по мелководью — 200 км/час. И все же до того момента, когда разрушительные волны достигнут важнейших населенных пунктов Тихоокеанского побережья СССР, остаются десятки минут, а иногда и час. Этого времени вполне достаточно, чтобы обнаружить цунами и оповестить население.

Узнать о возникновении цунами можно двумя путями. Первый, традиционный путь — сделать заключение о том, что землетрясение может вызвать цунами по особенностям записи землетрясения на берегу. Упругие волны бегут от очага землетрясения сквозь недра Земли до станции системы оповещения в 30 раз быстрее цунами.



Запись цунами 23.II.1980 г. донным мареографом (вверху), береговым мареографом в Южно-Курильске (в середине) и береговым мареографом в Малокурийской бухте (внизу). Стрелками показано начало цунами, время Гринвичское. Приливные колебания океана удалены. К Южно-Курильску цунами шло из очага практически по открытому морю, почти не встречая препятствий; колебания уровня океана в Южно-Курильске очень похожи на колебания уровня на границе очага цунами. Напротив, в Малокурийскую бухту цунами попало, обогнув с двух сторон о-в Шикотан; здесь колебания уровня воды носят совсем другой характер.

По каким же особенностям сигналов землетрясения можно судить о том, вызвало ли оно цунами? В советской службе предупреждения о цунами, начавшей работу с конца 50-х годов, равно как в японской и американской на Алеутских о-вах и Аляске, пока используется лишь один параметр землетрясения — его энергия (практически так называемая магнитуда). Слабые землетрясения не в состоянии вызывать цунами; все сильные подводные зем-

режье Америки цунами было заметным от Калифорнии (подъем воды на 2 м и более) до о-ва Чилоэ (более 2 м); оно наблюдалось всюду в Тихом океане, в том числе в Новой Зеландии и на Гавайских о-вах с высотой до 5 м, в Японии — до 2,5 м.

В 1878 г. сильное землетрясение на о-ве Танна (Новые Гебриды) изменило рельеф берега, возник водяной вал высотой порядка 15 м.

27.VIII 1883 г. катастрофическое извержение островного вулкана Кракатау в Индонезии сопровождалось огромным цунами. Вода поднималась на 30 м на берегах

Зондского пролива, на 4 м на южном побережье о-ва Суматра, на 2 м на южном и северном побережьях о-ва Ява, на 0,5—1 м в Тихом океане вплоть до Южной Америки. Погибло 36 тыс. человек.

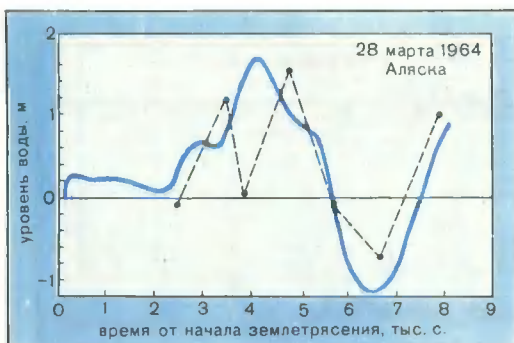
13.III 1888 г. взорвался островной вулкан Сакар (Риттер) между о-вами Новая Гвинея и Новая Британия. При этом на ближайших побережьях образовалась огромная приливная волна высотой 10—12 м. Размыт берег, уничтожен лес, отложился слой наносов толщиной более 1 м.

15.VI 1896 г. сильное землетрясение и катастрофическое цунами образовались на

северо-востоке о-ва Хонсю. Максимальный подъем воды достигал 30 м. Смыто более 10 тыс. зданий, погибло более 27 тыс. человек, ранено почти 10 тыс. жителей. В отдельных точках Гавайских о-вов вода поднималась на 9 м, в Калифорнии — на 1,5 м; цунами наблюдалось в Океании.

В 1899 г. разрушительное землетрясение и цунами с очагом у южного побережья о-ва Серам возникло в Индонезии. Из-за обвалов волна достигала высоты 10—15 м, погибло около 4 тыс. человек.

31.I 1906 г. катастрофическое землетрясение и сильное цунами возникло у побе-



Сопоставление колебаний уровня Тихого океана, наблюдавшихся в Кэйп-Якатаге (пунктир) и рассчитанных (цвет) на основе остаточного смещения дна в очаговой области Аляскинского цунами 28.III.1964 г. Расчет правильно предсказывает общий характер поведения цунами, но расходится с наблюдениями в том, что касается деталей формы цунами, что связано с характером упрощений, принятых при математическом моделировании цунами (по А. Хванту и Д. Дайвоки).

летрясения магнитудой более 7,5 обязательно возбуждают цунами той или иной интенсивности.

В переходном диапазоне значений магнитуды (от 6,5 до 7,5) точно предсказать возникновение цунами невозможно и прогноз цунами по энергии землетрясения носит сугубо статистический характер. В Курило-Камчатской зоне при принятом пороговом значении магнитуды $M=7,0$ на одну оправдавшуюся тревогу в среднем приходится три ложных и на 150 предсказанных сильных цунами одно пропущенное.

режий Эквадора и Колумбии. Волна высотой до 5 м накатилась на низменное побережье, где от Риоверде до Микая были смыты все прибрежные дома, погибло порядка 1 тыс. человек. Цунами наблюдалось всюду в Центральной Америке, а также в Мексике и Калифорнии, на Гавайских о-вах, в Японии.

21.XII 1908 г. разрушительное Мессинское землетрясение в Италии сопровождалось цунами высотой до 13 м.

25.VI 1917 г. катастрофическое землетрясение с очагом между о-вами Тонга и Самоа вызвало цунами высотой

до 12 м, зарегистрированное также на Гавайских о-вах и в Калифорнии.

18.XI 1929 г. сильное землетрясение на северо-западе Атлантического океана в районе Большой Банки вызвало подъем воды до 17 м на побережье Ньюфаундленда.

3.III 1933 г. сильное землетрясение и катастрофическое цунами образовались на северо-востоке о-ва Хонсю. Максимальный подъем воды достигал 28 м, на юге о-ва Хоккайдо — 9 м, Гавайских о-вах — 3 м. Погибло более 3 тыс. жителей, смыто и разрушено более 6 тыс. строений и 12 тыс. судов и лодок.

Более 15 лет в Сахалинском комплексном научно-исследовательском институте ДВНЦ АН СССР — головной организации по проблеме цунами в Академии наук СССР — под руководством автора этих строк велся поиск дополнительных критериев землетрясений, вызывающих цунами, в котором участвовали А. А. Поплавский, А. Н. Пустовитенко, А. И. Иващенко и др. Но успех пришел лишь в конце 70-х годов, когда появилась возможность вести регистрацию сейсмических сигналов не в обычном для классической сейсмологии частотном диапазоне 0,1—10 Гц (период волн 0,1—10 с), в более низком, порядка 0,001—0,1 Гц (период волн 10—100 с) с помощью сейсмографа, разработанного А. В. Рыковым в Институте физики Земли АН СССР². Такие приборы были установлены в ряде пунктов страны, в том числе на Тихоокеанском побережье.

Анализируя записи длиннопериодных сейсмографов, сотрудник Сахалинского комплексного научно-исследовательского института ДВНЦ АН СССР Р. Н. Бурьянская показала, что форма и в меньшей степени спектр продольной сейсмической волны в какой-то мере служат критериями для выявления землетрясений, вызывающих цунами. Прогнозными признаками служат время нарастания максимума и общая длительность волны; продолжительность

² Рыков А. В., Забелин М. В., Давыдов В. А. Длиннопериодная сейсмическая станция ДС—БП. В сб.: Сейсмические приборы. М.: Наука, 1976, вып. 9, с. 3.

27.XI 1945 г. землетрясение на севере Аравийского моря вызвало цунами, при котором погибло 4 тыс. человек.

1.IV 1946 г. сильное землетрясение к югу от о-ва Унимак (Алеутские о-ва) вызвало одно из наиболее сильных цунами. Вода поднималась на Алеутских о-вах до 30 м, Гавайских о-вах до 17 м, Маркизских о-вах и о-вах Хуан-Фернандес до 10 м, в США до 3 м, Японии до 1 м.

11.VIII 1953 г. при землетрясении в Ионическом море от цунами пострадали греческие о-ва Кефалиния, Итака и Закинф; в частности, смыт порт Вети.

и средняя скорость вспарывания тектонического разрыва в очаге землетрясения; положение длинноволнового края спектра и его максимума.

Расчет показывает, что использование каких-либо двух сильных признаков образования цунами, наряду с магнитудой землетрясения, способно повысить оправдаемость прогнозов цунами по сейсмическим данным практически до 100%.

Второй путь обнаружения цунами состоит в прямой регистрации волн в открытом океане, на границе очага цунами, с передачей информации, как сейчас говорят, в реальном масштабе времени на берег по какому-либо телеметрическому каналу, например по подводному кабелю. Для практических целей достаточно установить мареограф на краю шельфа, т.е. на глубинах порядка 200 м.

Идея этого гидрофизического способа обнаружения цунами была высказана автором в начале 60-х годов. Для его проверки на о-ве Шикотан — наиболее вынесенном в океан острове Курильской гряды — была создана специальная гидрофизическая обсерватория. Регистрацию цунами предлагалось проводить с помощью донного датчика гидростатического давления, величины, зависящей от уровня океана, и датчика скорости массового переноса, так как цунами, по существу, представляют собой знакопеременные течения, охватывающие всю толщу воды от ее поверхности до дна.

С 1964 по 1979 г. на Курильских о-вах и Сахалине, преимущественно у о-ва Шикотан, В. М. Жаком и другими было постав-

лено 19 таких гидрофизических измерительных систем, однако экспериментальный характер установок и сложные природные условия ограничивали продолжительность работы приборов величиной от нескольких недель до года, что не позволяло «поймать» сколько-нибудь сильное цунами.

Долгожданное событие осуществилось, наконец, 23.11.1980 г. С помощью датчика давления, установленного летом 1979 г. на шельфе о-ва Шикотан на глубине 113 м в 20 км от обсерватории и в 8 км от берега к юго-востоку от острова и связанного с обсерваторией кабелем, зарегистрировано цунами, вызванное землетрясением с магнитудой 7,0, очаг которого располагался перпендикулярно Курильской дуге у о-ва Зеленого.

Датчик находился почти на границе очага цунами. Он зарегистрировал возвышение воды в 7 см за час до подхода волн к населенным пунктам, причем персонал обсерватории наблюдал воочию весь процесс прохождения цунами над датчиком на экране самописца.

Первая в мире регистрация цунами в открытом океане (правда, очень слабого) помимо большого научного значения представляет огромный практический интерес. Экспериментально доказана полная возможность создания приборной системы обнаружения цунами в открытом океане и тем самым коренного улучшения службы предупреждения. Технический проект такой системы составляется сейчас в Государственном комитете СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды.

22.V 1960 г. произошли катастрофические землетрясение и цунами с очагом на юге Чили. Максимальный подъем воды достигал в Чили 25 м, на Гавайских о-вах — 10 м, в Океании 6—9 м, Японии и СССР — 6—7 м, в США — 3—4 м, на Алеутских о-вах — 3 м, в Новой Зеландии — 2 м, во всех остальных местах Тихого океана не менее 1 м. В Чили погибло около 1 тыс. человек, на Гавайских о-вах — 60, в Японии — 200.

28.III 1964 г. произошли катастрофические землетрясение и цунами с очагом у восточного окончания Алеутско-Алясской островной дуги.

Максимальный подъем воды в очаговой области равнялся 20 м, в Канаде — 10, США — 6 м, на Гавайских о-вах — 5 м, в Южной Америке — 1 м. Мощные прибрежные обвалы вызвали локальные всплески высотой до 30 м.

17.VIII 1976 г. сильные землетрясения и цунами возникли у южного побережья о-ва Минданао, Индонезия. Средний подъем воды в очаговой области равнялся 4 м, локальные всплески достигали 6—9 м. Погибло около 8 тыс. человек, получили ранения около 10 тыс. человек, лишились жилья около 90 тыс. человек.

19.VIII 1977 г. произошло сильное землетрясение у южного побережья Индонезии. На о-ве Сумбава вода поднималась не менее чем на 15 м; погибло 180 человек и осталось без крова 3,9 тыс. На северо-западе Австралии вода во многих местах поднималась от 2 до 6 м.

Соловьев С. Л., Го Ч. Н. Каталог цунами на западном побережье Тихого океана. М.: Наука, 1974. Соловьев С. Л., Го Ч. Н. Каталог цунами на восточном побережье Тихого океана. М.: Наука, 1975.

СВИДЕТЕЛЬСТВА ОЧЕВИДЦЕВ

Ночью жители города были разбужены землетрясением: разрушались печи, падали трубы, домашняя утварь. Через 40 мин после прекращения землетрясения послышался грохот со стороны океана и на город обрушился водяной вал, двигавшийся с большой скоростью. Через несколько минут вода отступила, унося разрушенное, и дно океана обнажилось на несколько сот метров. Через 15—20 мин на город снова надвинулась водяная стена, достигавшая 10-метровой высоты. Она практически смыла все на своем пути, оставляя от строений в лучшем случае бетонные фундаменты. Из земли были вывернуты и разбросаны по сторонам старые доты, в порту опрокинут экскаватор, а находившиеся там кетера заброшены на сотни метров на берег.

Отразившись от окружающих город сопок, волна стала скатываться в низину, где ранее находился центр города. Здесь образовался огромный водоворот, в котором с большой скоростью вращались всевозможные обломки строений и мелкие суда. В течение нескольких минут в этом водовороте погибло много людей. Через несколько минут после этой, наиболее сильной волны на опустошенное побережье нахлынула сравнительно слабая третья волна, оставившая после себя на берегу много обломков.

Описание северо-курильского цунами 1952 г. по рассказам очевидцев... Из кн.: Саваренский Е. Ф., Тищенко В. Г., Светловский А. Е. и др. Цунами 4—5 ноября 1952 г. Бюл. Совета по сейсмологии АН СССР, № 4.

РАЙОНИРОВАНИЕ ОПАСНОСТИ ЦУНАМИ

Наряду с оперативным оповещением населения и флота о приближении цунами с целью эвакуации людей на возвышенные места и отвода судов от берега, большое значение имеет оценка максимального возможного подъема воды в данной точке побережья в целях правильного планирования и осуществления застройки побережья, в частности строительства сооружений, снижающих разрушительную силу цунами. Чтобы надежно давать такие оценки, нужно научиться хорошо моделировать процессы возникновения и распространения цунами от сейсмического очага до выхода волн на берег. Наше понимание этих процессов быстро обогащается, но очень многое в явлении цунами все еще остается неясным.

Считается — и к этому есть серьезные основания, — что преобладающий механизм возбуждения сильных цунами состоит в «поршевых» подвижках дна. При сильных как наземных, так и подводных землетрясениях происходят подвижки крупных блоков земной коры по тектоническим разломам или системам разломов. При этом могут сместиться — на величину от миллиметров до десятков метров — и протяженные участки морского дна. Для двух цунами: 28.III.1964 г. у Аляски и 16.VI.1964 г. в Японском море вблизи г. Ниигаты — удалось получить конкретное представление об остаточных смещениях дна благодаря промерам глубины перед и после землетрясения. Рассчитанные теоретически мареграммы цунами на осно-

Хронология крупнейших цунами на Тихоокеанском побережье СССР

18.VI 1780 г. на о-ве Уруп вода поднялась на 10—12 м, на берег было заброшено первое русское купеческое судно «Св. Наталья», шедшее в Японию.

6.V 1841 г. в Халактырке близ Петропавловска вода поднялась на 15 м, были смыты балаганы и юрты.

25.IV 1843 г. цунами охватило огромный участок побережья от о-ва Уруп до Хонсю.

8.IX 1918 г. волна поднялась на 12 м на о-ве Уруп и

на 1,5 м на о-вах Бонин и Гавайских.

4.II 1923 г. возникло разрушительное цунами от Усть-Камчатка до Нальчево.

14.IV 1923 г. вода поднялась на 20—30 м в районе Усть-Камчатка.

7.XI 1958 г. волна высотой 3—5 м обрушилась на о-ва Итуруп, Кунашир, Шикотан, это цунами зарегистрировано на Гавайских, Маршалловых и Алеутских о-вах, в Северной и Южной Америке.

13.X 1963 г. возникло цунами высотой 5 м на о-ве Уруп и севере о-ва Итуруп, зарегистрировано во всей северной половине Тихого океана.

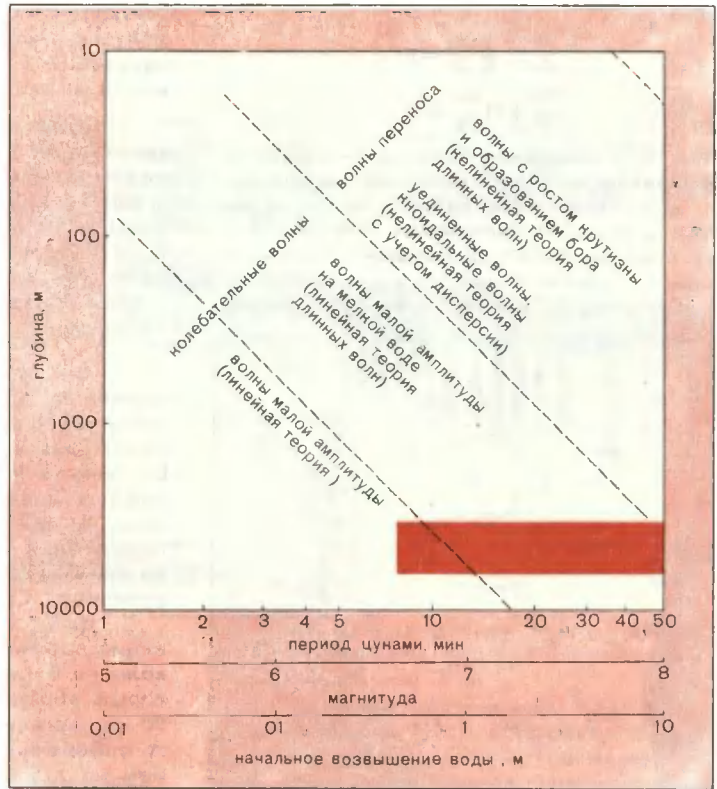
12.VIII 1969 г. цунами с высотой 4—5 м зарегистрировано на восточном побережье о-ва Шикотан, было заметно почти по всему Тихому океану.

23.XI 1969 г. цунами с высотой 10—15 м в районе м. Озерного обрушилось на север Камчатки.

10.VI 1975 г. цунами с высотой 3—4 м зарегистрировано на о-вах Кунашир и Шикотан.

Соловьев С. Л. Основные данные на Тихоокеанском побережье СССР. 1737—1976. В сб.: Изучение цунами в открытом океане. М.: Наука, 1978.

Смена типов волн цунами с изменением глубины воды и магнитуды землетрясения, от которой зависят начальные возвышения воды и период цунами, а также математические упрощения, принятые для описания цунами. С ростом высоты волны от точки к точке начинает передаваться не только колебательное движение, но и часть массы первоначально возвышения воды. Самые слабые и коротковолновые цунами на глубокой воде описываются обычно линейной теорией; сильные и длиннопериодные цунами на глубокой воде и слабые короткопериодные цунами на мелкой воде описываются линейной теорией длинных волн. Сильные на средней глубине моделируются кноидальными волнами [частный предельный случай этих волн — уединенные волны] и описываются нелинейной теорией с учетом дисперсии [уравнения Буссинеска, Кортевага — де Фриза]. Сильные цунами на мелкой воде описываются нелинейной теорией длинных волн и характеризуются ростом крутизны профиля волны по мере ее распространения вплоть до образования бора и последующего разрушения волны. Цветом показана область типичных значений глубины воды в очаговой зоне и магнитуды землетрясений для цунамигенных Курило-Камчатских землетрясений [по С. Л. Соловьеву].



ве смещений дна оказались достаточно похожими на реальные мареограммы и визуальные наблюдения³.

Большую роль в формировании цунами вместе с тем играет и начальное поле скоростей дна (и, соответственно, воды). Свидетельством этому служит, например, слабое цунами, сопровождавшее землетрясение 15.VI.1911 г. с очагом на глубине 160 км на о-вах Рюкю. Как правило, на слой воды одновременно воздействуют и поле начальных смещений дна и поле начальных скоростей, но эти явления еще тщательно не проанализированы.

Г. С. Подъяпольским, А. С. Алексеевым, В. К. Гусяковым разработана методика расчета цунами непосредственно от заглубленного очага землетрясения по величине и ориентации сейсмостектонической подвижки, получаемым из наблюдений сети сейсмических станций. Численное моделирование этим способом Южно-Курильских цунами 17.VI.1973 г. и 10.VII.

1975 г. привело к неплохому согласию между расчетными и реальными мареограммами цунами на берегу.

Следует обратить внимание, что аналитическое описание цунами весьма сложно. При определенных упрощениях возвышение воды можно выразить через интегралы типа свертки функций источника и среды распространения (работы С. С. Войта, Л. В. Черкесова и др.), но даже в случае идеального, практически не существующего бассейна постоянной глубины удастся лишь получить асимптотические оценки интегралов на больших расстояниях и рассчитывать их численно на малых расстояниях.

Поэтому в основе численного моделирования цунами лежат конечно-разностные решения систем дифференциальных уравнений, описывающих поведение цунами. Особенно интенсивно и успешно эти методы развиваются в Новосибирске Ю. И. Шокиным, Л. Б. Чубаровым, Ан. Г. Марчуком и другими.

Самая простая система, описывающая цунами, принадлежит линейной теории длинных волн (волн на мелкой воде) при

³ Hwang L. Sh., Divoky D. — J. Geophys. Res., v. 75, № 33, 1970.

одномерном распространении (плоская волна):

$$\frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + H \frac{\partial u}{\partial x} = 0,$$

где ζ — возвышение воды, u — скорость горизонтального перемещения частиц воды, g — ускорение силы тяжести, H — глубина воды. Применимость теории длинных волн вытекает из больших периодов цунами, заключенных в диапазоне 5—150 мин, и, соответственно, больших



Пример районирования максимально возможного подъема воды на побережье Камчатки при начальной высоте цунами 1 м.



длин волн, равных десяткам, сотням и тысячам километров, что много больше любой возможной глубины океана. Для типичных цунами океан как бы бесконечно тонок.

Все же, если длина волны сравнительно мала, цунами начинает «чувствовать» конечность глубины и скорость распространения разных частотных составляющих

волны становится неодинаковой, т.е. появляется дисперсия. В этом случае вышеупомянутая система несправедлива и нужно пользоваться более общей теорией волн малой амплитуды.

С другой стороны, если возрастает высота цунами, то скорость распространения гребней и ложбин волны, зависящая от суммы возвышения и невозмущенной глубины воды, становится разной, т.е. появляются типичные нелинейные эффекты, приводящие к росту крутизны профиля волны и формированию бора (ступени на поверхности воды).

При необходимости учитывать одновременно и дисперсию, и нелинейность приходится пользоваться довольно сложными уравнениями третьего порядка типа Буссинеска и Кортвега-де-Фриза. Их детальный анализ проведен Л. А. Островским, Е. Н. Пелиновским и другими. На мелководье, где необходимо принимать во внимание донное трение, используются уравнения Сен-Венана.

Имеются пакеты программ, позволяющие просчитать цунами вплоть до выхода волн на берег. Возьмем, например, некоторый обобщенный очаг цунами шириной 90 км, вытянутый вдоль Курило-Камчатского побережья и удаленный от него в среднем на 115 км, что неплохо генерализует реально выявленные очаги цунами. Предположим далее, исходя из ряда натурных и модельных данных для цунами средней интенсивности, что поверхность океана при накате цунами на берег сохраняет горизонтальное положение. Расчеты такого типа для первоначальной «нормированной» высоты цунами 1 м, проведенные в Ленинградском гидрометеорологическом институте В. Г. Бухтеевым, А. В. Некрасовым, Р. В. Пясковским, Н. Л. Плинком и другими в содружестве с СахКНИИ ДВНЦ АН СССР и Институтом прикладной физики АН СССР (Горький), позволили создать основу схемы для районирования высоты цунами на Тихоокеанском побережье СССР⁴.

⁴ Соловьев С. Л., Некрасов А. В., Бухтеев В. Г., Пясковский Р. В. Предварительное цунамирайонирование Курило-Камчатского побережья на основе гидродинамических расчетов. — В сб.: Теоретические и экспериментальные исследования по проблеме цунами. М.: Наука, 1977; Пелиновский Е. Н., Плинок Н. Л. Предварительная схема цунамирайонирования побережья Курило-Камчатской зоны на основе одномерных расчетов (модельный очаг). Институт прикладной физики АН СССР, препринт № 5. Горький, 1980.



Разрушения транспортных путей на Аляске, вызванные сильным цунами 1964 г.

А что можно извлечь из фактических данных о цунами, наблюдавшихся на Курильских о-вах и Камчатке? Процесс возникновения сильных, а следовательно и вызывающих цунами землетрясений сосредоточился в Курило-Камчатской зоне с 1958 г. преимущественно в ее южной части, от о-ва Матуа до о-ва Хоккайдо. За 22 года здесь произошло 22 землетрясения, сопровождавшихся цунами (от 0 до 4 в год), причем поочередно «включались» то параллельные островной дуге, то поперечные к ней очаги. Этот процесс любопытен во многих отношениях, но для обсуждаемого вопроса важно то, что он дал в руки исследователей некоторый статистический материал. Обобщив его, автор этих строк вместе с И. В. Тулуповым пришли к выводу, что за 100 лет, при условии сохранения сейсмического процесса на юге Курильских о-вов на существующем высоком уровне, в важнейших населенных пунктах следует ожидать следующего максимального подъема воды, в метрах: Малокурильское — 7 ± 2 , Южно-Курильск — 5 ± 2 , Буревестник — 6 ± 2 , Курильск — $3,5 \pm 2$. Для Буревестника это всего в 1,2 раза больше упомянутого выше «нормированного» наводнения, отвечающего перво-

начальной высоте цунами 1 м и первоначальному подъему воды (а следовательно и смещению дна) 2 м.

При катастрофическом Камчатском землетрясении 1952 г. остаточное смещение дна оценивается в 8 м, т. е. было в четыре раза больше. Откуда такое расхождение с приведенной выше оценкой 2 м? Можно ли считать, что сейсмический процесс на юге Курильских о-вов менее активен (в долгосрочном смысле), чем на юге Камчатки? Причина, думается, в другом. Землетрясения типа Камчатского на юге Курильских о-вов происходят, видимо, очень редко, порядка раза в 300 лет, и оценки только на 100 лет вперед не дают максимальных возможных высот цунами.

Работы по районированию цунами на Тихоокеанском побережье СССР активно продолжаются и должны завершиться в 11-й пятилетке.

В заключение следует сказать, что проблема цунами относится к отраслям знания, возникающим на стыке различных дисциплин. Здесь успешно трудятся бок о бок сейсмолог и океанолог, теоретик-гидродинамик и практик-гидравлик, геоморфолог и строитель, специалисты по электронике и телеметрии и т. д. Хотелось бы надеяться, что ряды исследователей проблемы цунами будут расти, поскольку им предстоит решить важную задачу — обеспечить безопасность населения, живущего и работающего на восточной границе нашей страны.

Гравитационное излучение и эволюция карликовых двойных звезд

А. Г. Масевич, А. В. Тутуков, Л. Р. Юнгельсон

В 1916 г. А. Эйнштейн, анализируя уравнения общей теории относительности, нашел, что должны существовать гравитационные волны, которые распространяются со скоростью света. Простейшим примером излучателя гравитационных волн может служить любое вращающееся тело или система тел, несимметричные относительно оси вращения. Однако мощность гравитационного излучения от генераторов, которые можно сконструировать в лабораторных условиях, столь ничтожна, что его пока невозможно зарегистрировать¹, и, следовательно, прямая экспериментальная проверка предсказания А. Эйнштейна пока неосуществима. Но поскольку интенсивность гравитационного излучения нарастает по мере увеличения массы вращающегося тела и скорости его вращения, то естественно обратиться к астрономии в поисках вращающихся систем подходящих масс.

ТЕСНЫЕ ДВОЙНЫЕ ЗВЕЗДЫ — ГЕНЕРАТОРЫ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

Из астрономических наблюдений известно, что большая часть звезд — двойные: их компоненты, связанные силой гравитации, движутся друг относительно друга по замкнутым орбитам с периодами от нескольких часов до нескольких сот тысяч лет. Излучая гравитационные волны, двойная звезда теряет энергию орбитального движения, поэтому расстояние между компонентами уменьшается, а скорость вращения системы нарастает. Мы рассмотрим влияние этих факторов на эволюцию двойных звезд, т. е. на изменение со временем масс компонент и расстояний между ними в результате излучения гравитационных волн.

Согласно теоретическим оценкам, мощность гравитационного излучения подавляющего большинства двойных звезд чрезвычайно мала. Поэтому долгое время полагали, что его влияние на эволюцию двойных звезд пренебрежимо мало и поэтому оно пока необнаружимо.

Лишь в 1962 г. Р. Крафт, П. Мэтьюз и Д. Гринштейн², анализируя результаты наблюдений двойной звезды с наиболее коротким (~ 81 мин) из известных в то время орбитальных³ периодов — WZ Стрелы (WZ Sge), обратили внимание на то, что время изменения расстояния а между компонентами из-за излучения гравитационных волн может оказаться короче как времени жизни Галактики (~ 10¹⁰ лет), так и времени эволюции компонент системы вследствие термоядерных реакций в их недрах. Действительно, потеря механической энергии приводит к сближению компонент двойной звезды за время порядка

$$10^7 \frac{(M_1 + M_2)^3}{M_1 M_2} P^{8/3} \text{ лет.}$$

В этой формуле массы компонент M_1 и M_2 выражены в массах Солнца M_\odot , а период орбитального движения P — в часах. Отсюда следует, что компоненты двойных систем с массами порядка солнечной и периодом короче 10—12 ч должны заметно сблизиться за время, меньшее времени жизни Галактики. Таким образом, с уменьшением орбитального периода скорость эволюции двойных звезд под влиянием излучения гравитационных волн увеличивается; поэтому именно в таких объектах (с периодом в несколько часов) в первую очередь следует искать эффекты, вызванные излучением гравитационных волн.

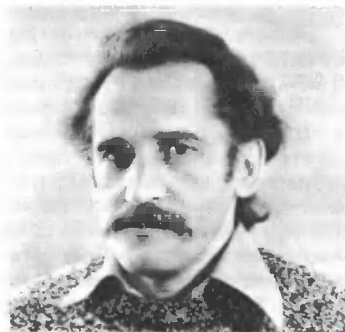
¹ Подробнее об этом см.: Природа, 1974, № 10, с. 106.

² Kraft R., Mathews P., Greenstein J. — *Astroph. J.*, 1962, v. 136, p. 312.

³ Орбитальный период — время обращения компонент друг относительно друга.



Алла Генриховна Масевич, доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки РСФСР, заместитель председателя Астрономического совета АН СССР, лауреат Государственной премии 1975 г. Область научных интересов — физика и эволюция звезд, космическая геодезия.



Александр Васильевич Тутуков, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник сектора астрофизики Астрономического совета АН СССР. Область научных интересов — эволюция звезд.



Лев Рафаилович Юнгельсон, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Астрономического совета АН СССР. Занимается исследованием эволюции звезд, в частности тесных двойных звездных систем.

Сближение компонент двойной системы происходит до момента, когда одна из них заполняет так называемую полость Роша (или внутреннюю критическую поверхность). При описании эволюции двойных звезд полость Роша определяют как тот предельный объем, который может иметь одна из компонент данной двойной системы. При большем объеме эта компонента начинает терять вещество, передавая его второй компоненте (обычно это звезда меньшего размера, спутник) за счет гравитационного взаимодействия между ними. Если массы компонент сравнимы, то характерные размеры полости Роша R составляют 30—40 % от расстояния между компонентами. Понятие полости Роша играет ключевую роль в расчетах

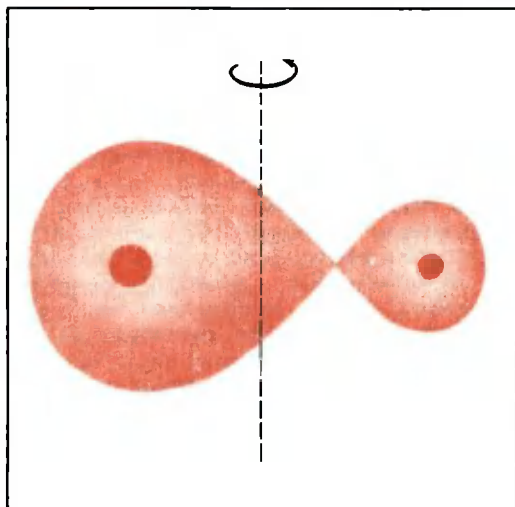
эволюции двойных звезд, поскольку звезда не может иметь радиус, превышающий R . В ходе эволюции это условие может выполняться, лишь если звезда теряет вещество. Следовательно, требуя в ходе расчетов, чтобы $R_{\text{зв}} = R$ и учитывая законы сохранения полной массы и орбитального углового момента системы, можно определить скорость потери вещества компонентой, заполняющей полость Роша:

$$\frac{dM}{dt} \approx 10^9 \frac{M_1 M_2 (M_1 + M_2)}{a^3 \left[\frac{2a(M_2 - M_1)}{M_1 M_2} - \frac{da}{dM} \right]} M_{\odot} / \text{год},$$

где M_1 и M_2 выражены в солнечных массах, расстояние между компонентами a — в радиусах Солнца. Численное значение

da/dM можно найти, если известна зависимость радиуса звезды от ее массы. Таким образом, удается полностью описать изменение параметров двойной системы (массы компонент и расстояния между ними) под влиянием излучения гравитационных волн, если одна из компонент заполняет полость Роша.

Вещество, которое теряет звезда, заполняющая полость Роша, образует газовую струю, движущуюся по направлению к спутнику. Вещество струи имеет угловой момент, поэтому вокруг спутника возникает



Полости Роша двойной звезды.

вращающийся газовый диск, называемый обычно аккреционным. В нем вещество постепенно теряет угловой момент и присоединяется к спутнику. Размеры аккреционного диска, как правило, не превышают половины размера полости Роша аккрецирующей звезды.

Орбитальные периоды, меньшие 10—12 ч, имеют очень многие двойные звезды. В первую очередь это так называемые контактные двойные системы типа W Большой Медведицы (WUMa), компоненты которых — звезды с массой, близкой к 1—1,5 M_{\odot} , — расположены настолько близко друг к другу, что практически соприкасаются и имеют общую конвективную внешнюю оболочку, через которую обмениваются веществом и энергией. Звезды типа WUMa — один из наи-

более многочисленных классов двойных звезд. Их периоды изменяются с характерным временем $\sim 10^7$ лет, что на 2—3 порядка меньше времени изменения периода под действием излучения гравитационных волн. Отсюда можно заключить, что эволюция контактных систем определяется факторами, не связанными с излучением гравитационных волн. Наблюдаемые «большие» изменения периодов, вероятно, связаны с обменом веществом между компонентами. Выделить малые изменения периодов, вызванные излучением гравитационных волн, на фоне значительно больших изменений пока не удается.

Короткие орбитальные периоды имеют также многие двойные звезды, у которых одна компонента — нормальная водородно-гелиевая звезда с массой меньше солнечной, а вторая — нейтронная звезда или карлик из вырожденного вещества⁴. У таких звезд обнаружены вспышки оптического излучения различной продолжительности. Системы, в которых компактная компонента является вырожденным карликом, называют катаклизмическими переменными звездами. Характерные времена переменности их блеска заключены в очень широких пределах: от нескольких десятков секунд, например, у так называемых новоподобных звезд, до десятков и, вероятно, сотен лет у новых звезд. Энергия, выделяющаяся при вспышках, достигает у новых звезд величины порядка 10^{46} эрг (за месяц). Отметим, что наше Солнце излучает такую энергию за сто тысяч лет. Сегодня можно уверенно утверждать, что все катаклизмические звезды — двойные системы, состоящие из карлика, вещество которого вырождено, и водородно-гелиевой звезды меньшей массы, заполняющей свою полость Роша. Температура недр карлика недостаточна для ядерного горения, он излучает за счет аккреции и остывания вещества. Наблюдаемые у катаклизмических звезд вспышки могут быть обусловлены неустойчивым истечением вещества от одной из компонент, неустойчивостями струи и аккреционного диска или неустойчивым ядерным горением в слое вырожденного вещества на поверхности карлика, на который происходит аккреция.

⁴ Сила тяготения в вырожденном карлике уравновешена давлением вырожденного электронного газа. В вырожденные карлики превращаются, заканчивая эволюцию, все звезды с массами от одной до 10 M_{\odot} , а в нейтронные звезды — более массивные объекты.

Известный двойной радиопульсар⁵ PSR1913+16 имеет орбитальный период 7 ч 45 мин. Одна из его компонент — нейтронная звезда, а вторая — или компактная звезда-карлик, или нейтронная звезда, или даже черная дыра. У этой системы обнаружено уменьшение орбитального периода со скоростью $(-3,2 \pm 0,6) \cdot 10^{-12}$, что по величине и знаку совпадает с тем уменьшением, которое должно наблюдаться из-за излучения гравитационных волн. Если этот эффект будет подтвержден результатами дальнейших наблюдений, то общая теория относительности получит еще одно убедительное подтверждение ее справедливости.

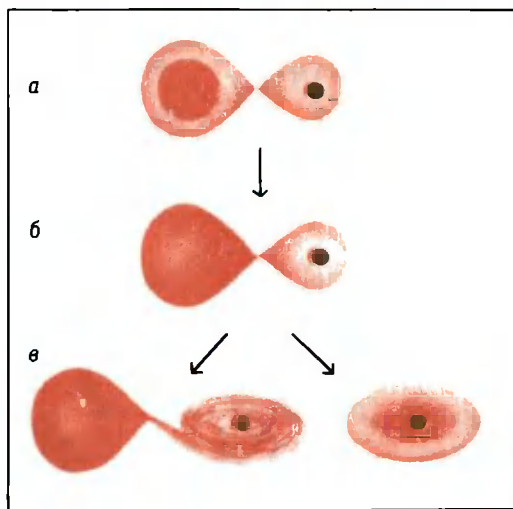
ЭВОЛЮЦИЯ КАТАКЛИЗМИЧЕСКИХ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИЗЛУЧЕНИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

Катаклизмические звезды относятся к наиболее долгоживущим и многочисленным объектам нашей Галактики. Поэтому излучение гравитационных волн должно влиять на ход эволюции значительной части двойных звезд.

Исследование эволюции этого типа звезд под влиянием излучения гравитационных волн можно провести без детальных расчетов строения компонент, теряющей вещество. Для звезд с массами от 0,1 до 1 M_{\odot} время восстановления теплового равновесия, нарушенного потерей вещества, короче характерного времени излучения гравитационных волн. Поэтому при анализе уравнения для dM/dt — скорости обмена веществом — можно использовать соотношение масса — радиус для термически равновесных звезд, у которых выделение энергии за счет ядерных реакций уравновешено потерями на излучение.

Результаты расчетов удобно анализировать на диаграммах, где сопоставлены величины, которые могут быть определены из наблюдений, — период двойной системы, скорость изменения периода, скорость обмена веществом, массы компонент. Обычно период двойной системы определяется либо по периодическому изменению ее блеска, вызываемому затмениями одной из компонент другой, либо по периодическому смещению линий в спектре,

обусловленному движением компонент по орбите. Однако собственный блеск катаклизмических звезд очень слаб. Большая часть их наблюдаемого излучения обусловлена так называемым горячим пятном, которое образуется в месте столкновения струи с аккреционным диском вокруг карлика. Период системы в этом случае может быть определен по затмениям пятна второй компонентой. Обычный метод определения масс двойных звезд — по спектрам компонент⁶ — в случае катаклизмических переменных наталкивается на



Эволюция двойных звезд под действием излучения гравитационных волн: а — компоненты сближаются, не заполняя полости Роша; б — компонента больших размеров заполняет полость Роша; в — заполняющая полость Роша компонента теряет вещество, которое образует диск вокруг компактного спутника, вещество диска постепенно оседает на звезду или вырожденная звезда за несколько минут превращается в массивный диск вокруг спутника. Дальнейшая эволюция диска определяется скоростью потери углового момента веществом диска.

ту же трудность: наблюдается, как правило, только спектр пятна. Поэтому значения масс, которые известны лишь примерно для 20 звезд, ненадежны. В связи с этим в расчетах используют «среднестатистическую» катаклизмическую переменную, которая состоит из компактного вырожденного карлика массой $\sim 1 M_{\odot}$ и заполняющей полость Роша звезды массой в несколько

⁵ Подробнее об изменении периода двойного радиопульсара см.: Шакура Н. И. Гравитационное излучение от двойной системы, содержащей радиопульсар. — Природа, 1979, № 10, с. 99.

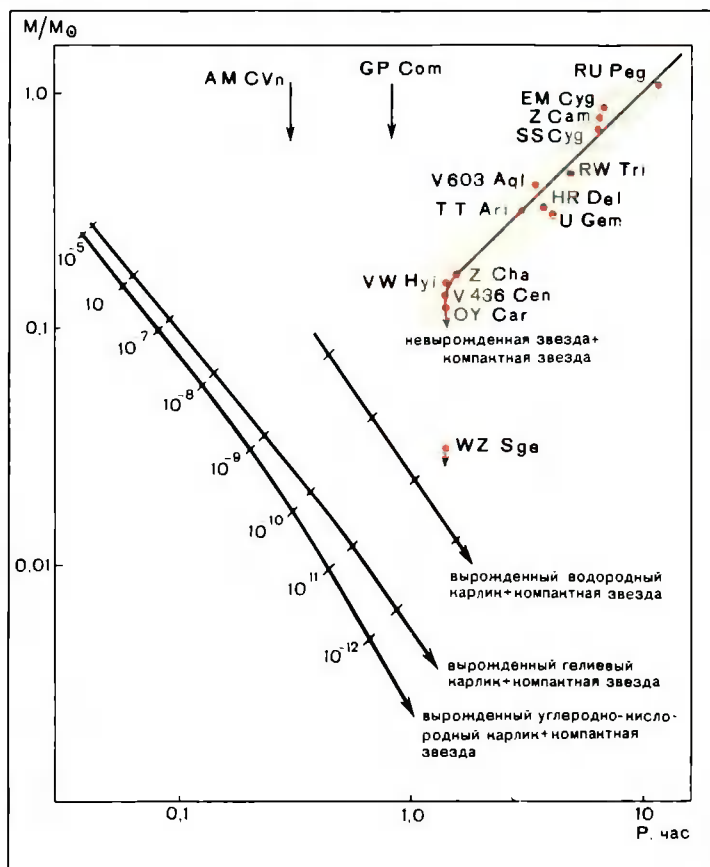
⁶ По виду спектра звезды, ширине спектральных линий можно с некоторой степенью достоверности судить об ее массе.

десятих солнечной, в недрах которой горит водород; компоненты расположены на расстоянии $\sim 10^6$ км друг от друга.

Скорость обмена веществом между компонентами двойной системы можно определить по скорости изменения ее периода. Однако, чтобы обнаружить эти изменения, обусловленные излучением гравитационных волн, за системой необходимо наблюдать более ста лет, а имеющиеся наблюдения покрывают интервалы времени всего лишь до двадцати-тридцати лет. Обнаруженные у некоторых катакли-

до системы, можно оценить скорость обмена веществом.

Соотношение между орбитальным периодом и массой теряющей вещество компоненты для нескольких двойных звезд показано на рисунке. На нем нанесены кривые, вдоль которых эволюционируют заполняющие полость Роша компоненты звезд, излучающих гравитационные волны. В то время как излучение гравитационных волн сближает компоненты, перетекание вещества стремится их раздвинуть. Результат зависит от скорости обмена веществом,



Эволюционные треки карликовых двойных звезд. Сплошные линии — изменения параметров карликовых двойных звезд, эволюционирующих в результате потери углового момента из-за излучения гравитационных волн. Числа у треков — скорость обмена веществом между компонентами, в единицах $M_{\odot}/\text{год}$. Точки — положение катаклизмических переменных. Стрелками сверху отмечены периоды двух рекордно тесных двойных звезд, свойства которых пока не вполне ясны. По оси ординат отложены массы двойных звезд в массах Солнца (M_{\odot}), по оси абсцисс — их период в часах.

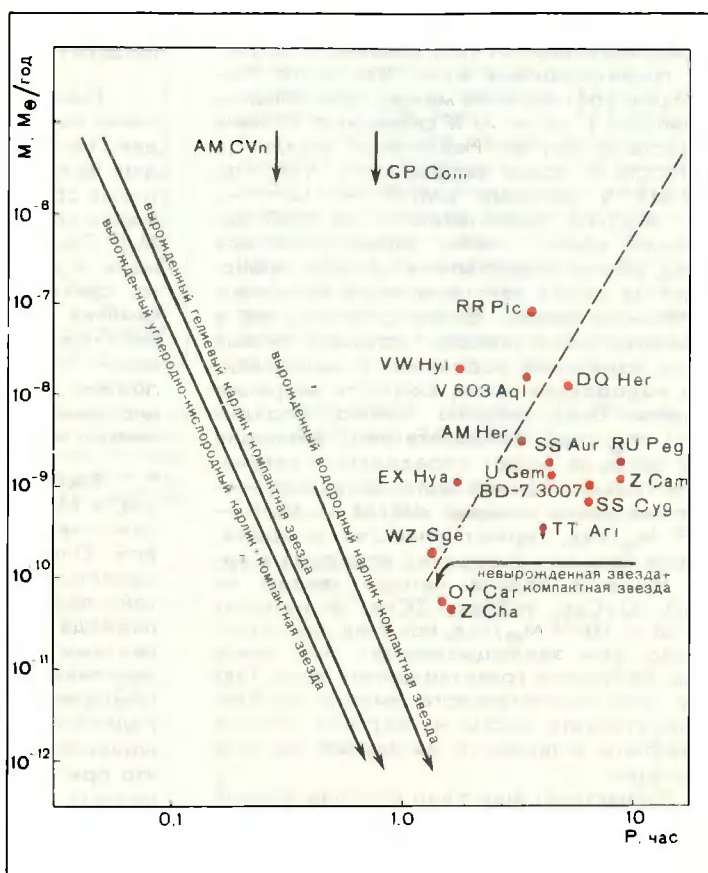
мических переменных изменения периодов отражают, вероятно, изменения размеров аккреционного диска и положения на нем горячего пятна. Однако именно яркость пятна может служить мерой скорости обмена веществом. Если вся светимость пятна обусловлена «высвечиванием» кинетической энергии струи, то, зная примерно массу карлика, размер диска и расстояние

которая, в свою очередь, зависит от того, как в ходе потери изменяется радиус звезды. Сближение компонент сменяется удалением, когда в формуле $R \sim M^{\alpha}$ показатель α становится меньше $1/3$. (Этот вывод получен из анализа основного уравнения для скорости истечения вещества.) Когда компоненты системы сближаются, орбитальный период системы

уменьшается. Увеличение же расстояния между компонентами происходит очень медленно, и орбитальный период системы при этом почти не меняется. Поэтому происходит «накопление» двойных звезд с параметрами: $P \sim 80$ мин, $M_2 \sim 0,1 M_{\odot}$, $dM/dt \sim 3 \cdot 10^{-11} M_{\odot}/\text{год}$. Таким образом, в соответствии с расчетами у звезд с невырожденными водородно-гелиевыми контактными компонентами должен существовать нижний предел периода, который близок к 80 мин. Данные наблюдений также указывают на то, что катаклими-

состоит из вырожденного гелия или углерода, то орбитальный период в ходе эволюции системы все время возрастает, так как в этом случае радиус звезды увеличивается с уменьшением ее массы. По этой причине в системах из двух вырожденных звезд первой заполняет полость Роша менее массивная компонента. В системах, где полость Роша заполняет водородно-гелиевая невырожденная звезда (обычная звезда главной последовательности типа Солнца), период начинает возрастать, когда масса этой звезды становится порядка

Зависимость от орбитального периода P скорости обмена массой между компонентами тесных двойных звезд — dM/dt . Точками показано положение катаклизмических переменных. Стрелками вверху отмечены периоды двух рекордно тесных двойных звезд. Штриховая линия — положение звезд, теряющих вещество за время восстановления теплового равновесия звездой, заполняющей полость Роша.



ческие переменные звезды имеют орбитальные периоды, превышающие 82 мин (как, например, у WZ Стрелы). Другую важную, известную из наблюдений особенность распределения катаклизмических переменных звезд по периодам — отсутствие звезд с периодами от двух до трех часов — пока объяснить не удается. Если теряющая вещество компонента

$0,1 M_{\odot}$, т. е. когда время восстановления теплового равновесия звезды сравнивается со временем излучения гравитационных волн. Скорость обмена веществом при этом быстро уменьшается и время эволюции системы приближается к космологическому ($\sim 10^{10}$ лет).

На графике, показывающем связь между орбитальным периодом системы

Р и массой M теряющей вещество компоненты, все катаклизмические переменные располагаются вблизи линии, относящейся к звездам, эволюционирующим под действием излучения гравитационных волн. Однако это еще не доказывает, что эволюция этих двойных звезд действительно происходит таким образом. Для окончательного решения необходимо убедиться, что скорость обмена веществом в таких системах соответствует скорости, характерной для эволюции под воздействием излучения гравитационных волн.

Попытаемся выделить те катаклизмические переменные, которые действительно эволюционируют под влиянием излучения гравитационных волн. Для этого рассмотрим соотношение между орбитальным периодом P системы и скоростью обмена веществом dM/dt . Некоторые звезды (в частности — новые звезды RR Pic, V603 Aql, DQ Her), у которых $dM/dt \sim 10^{-8} - 10^{-7} M_{\odot}/\text{год}$, располагаются на этой диаграмме вблизи линии, характерной для звезд, обмен веществом в которых происходит за время восстановления теплового равновесия звезды. Важно отметить, что в моделях, объясняющих вспышки новых звезд взрывным горением в вырожденном водородном слое, скорости аккреции должны быть именно такого порядка ($10^{-7} M_{\odot}/\text{год}$), следовательно, эволюция этих звезд не может определяться излучением гравитационных волн. Катаклизмические звезды, у которых $dM/dt \sim 10^{-9} - 10^{-8} M_{\odot}/\text{год}$, теряют вещество за время, равное времени выгорания водорода в ядре. Имеется только четыре звезды — TT Ari, OY Car, WZ Sge, Z Cha, у которых $dM/dt \sim 10^{-10} M_{\odot}/\text{год}$, поэтому, вероятно, только они эволюционируют под влиянием излучения гравитационных волн. Однако для окончательного вывода необходимо уточнить массы и скорости обмена веществом и провести детальные расчеты эволюции.

Существует еще один дополнительный механизм потери энергии орбитального движения компонент тесной двойной звезды, о котором необходимо упомянуть. В оболочках звезд массой меньшей $1,5 M_{\odot}$ перенос энергии происходит за счет конвекции, которая порождает в оболочках звездный ветер — поток горячего газа, истекающего с параболической⁷ скоростью. Качественно этот процесс приводит к тем же последствиям, что и излучение гравитационных волн. Газ уносит с собой часть

энергии орбитального движения компонент, и в случае, когда теряющая вещество звезда имеет сильное магнитное поле, этот процесс ускоряется. Если время потери энергии орбитального движения за счет ветра $\sim 10^{10}$ лет, то эволюция системы будет происходить почти так же, как и при излучении гравитационных волн. К сожалению, скорость потери энергии орбитального движения за счет звездного ветра пока не поддается количественной оценке, поэтому излучение гравитационных волн представляется наиболее приемлемым механизмом для объяснения эволюции по крайней мере перечисленных выше катаклизмических звезд.

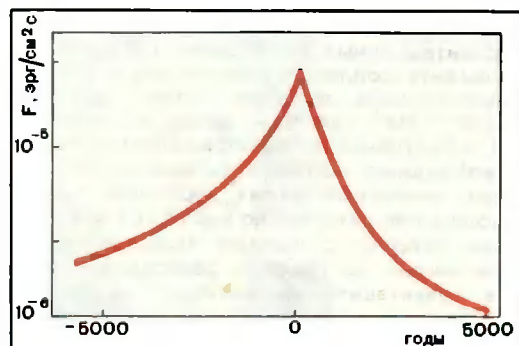
Известны две двойные звезды с очень короткими периодами: AM в созвездии Гончих Псов ($P=18$ мин) и CP в созвездии Волосы Вероники ($P=50$ мин), у которых обе компоненты, судя по периодам, выродены (см. график зависимости P от M_2). Однако яркость обеих систем очень мала и они не доступны для детального спектрального исследования. Но поскольку эти системы обладают очень короткими орбитальными периодами и малыми массами компонент, их эволюция должна полностью определяться гравитационным излучением. К сожалению, эти звезды изучены пока недостаточно.

Рассмотрим теперь эволюцию системы, в которой заполняющая полость Роша компонента является вырожденной звездой. Описанная выше картина заполнения полости Роша более легкой компонентой, перетекания вещества и увеличения периода системы с вырожденными компонентами имеет место, если к моменту заполнения полости Роша отношение масс компонент не превосходит 0,6. Ситуация радикально меняется, если начальное отношение масс больше 0,6. Дело в том, что при близких массах компонент размер полости Роша в ходе обмена веществом почти не изменяется, в то время как радиус вырожденной звезды с уменьшением массы растет. Поэтому расширяющаяся звезда за время нескольких орбитальных периодов (~ 100 с) вся «вытечет» и превратится в диск вокруг более массивной компоненты. В результате должна высвободиться энергия порядка 10^{50} эрг, которая сравнима с энергией, выделяемой при вспышке сверхновой звезды. Дальнейшая эволюция массивного диска полностью определяется скоростью потери его углового момента. Если характерное время потери момента превышает $10^5 - 10^6$ лет, вещество диска будет постепенно присоединяться к звезде

⁷ При параболической скорости вещество теряется звездой.

и система станет источником рентгеновского излучения (если звезда, на которую происходит аккреция, — нейтронная); если же процесс идет более эффективно, диск превратится в протяженную сферически-симметричную оболочку. В результате из тесной двойной системы образуется одиночная гелиевая или углеродно-кислородная звезда.

Постепенное увеличение массы вырожденного карлика в результате аккреции на него вещества спутника или диска может привести к увеличению плотности и

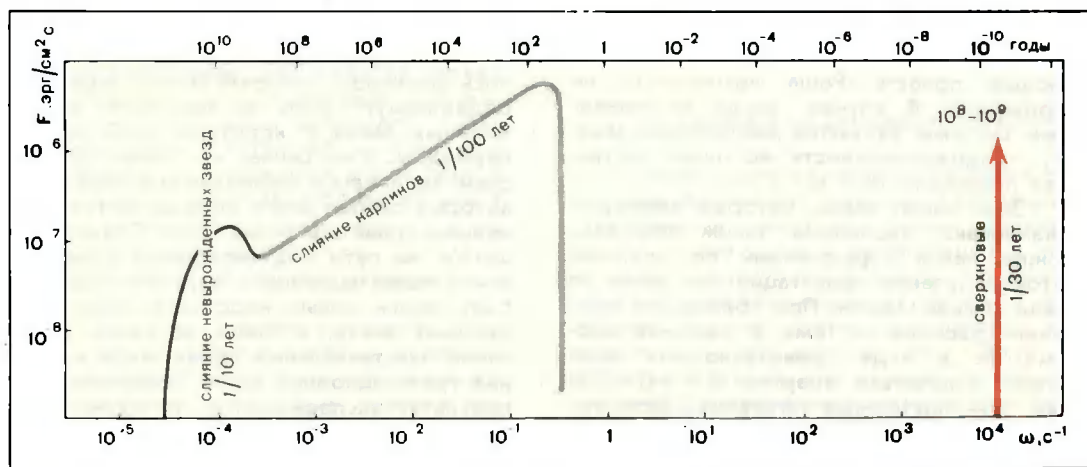


Зависимость от времени потока гравитационного излучения F , который бы наблюдался от расположенной на расстоянии 100 пс от Земли системы из вырожденных карликов массами 0,44 и 0,36 M_{\odot} . Момент времени t относится к минимуму расстояния между компонентами.

температуры в центре звезды до величин, достаточных, чтобы в ее недрах началось ядерное горение. В этот момент массы гелиевых карликов примерно равны 0,45—0,6 M_{\odot} , а массы углеродно-кислородных карликов $\sim 1,4 M_{\odot}$. Горение гелия и углерода в вырожденном веществе звезды носит взрывной характер. Поскольку давление вырожденного газа не зависит от его температуры, горение ядерного топлива ведет к увеличению температуры вещества и, следовательно, скорости горения. Звезда начинает расширяться, лишь когда температура вырастает в 5—10 раз. Значительная часть ядерного топлива сгорает уже в процессе расширения звезды. Выделяющаяся при этом энергия ($\sim 10^{50}$ эрг) может превысить энергию связи, и звезда взрывается как сверхновая. Гелиевые карлики в результате взрыва полностью разрушаются, а углеродно-кислородные карлики, вероятно, порождают нейтронные звезды, которые со временем могут стать радиопульсарами, если система при взрыве распадается, и рентгеновскими источниками — если этого не происходит. Так могут происходить взрывы сверхновых звезд в тесных двойных системах с массами компонент, близкими к солнечной.

ФОНОВОЕ ГРАВИТАЦИОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ОТ ЗВЕЗД

Излучение гравитационных волн различными типами двойных звезд нашей Га-



Зависимость от частоты усредненного потока F гравитационного излучения двойных звезд. Показан вклад от сливающихся звезд главной последовательности с массами $\sim M_{\odot}$ и систем сближающихся вырожденных карликов. Стрелка — максимальное значение потока от взрыва сверхновой звезд,

находящейся на расстоянии 10 кпс от Земли. На верхней шкале — характерное время сближения компонент в системах, частота гравитационного излучения от которых показана на нижней шкале.

лактики создает фон. Можно найти его интенсивность у Земли. По оценкам, в Галактике в течение года образуются ~ 10 двойных звезд с массами компонент $0,2—1 M_{\odot}$ и одна двойная звезда с массой компонент $1—10 M_{\odot}$. Более массивные звезды образуются реже — примерно раз в 30 лет. Звезды с массами $1—10 M_{\odot}$ в конце жизни превращаются в вырожденные карлики. Зависимость числа вновь образовавшихся звезд от периода известна плохо. В ходе эволюции период системы может меняться из-за обмена веществом между компонентами. Оценку изменений периодов затрудняет то, что мы не знаем, какую долю энергии орбитального движения система теряет в ходе обмена веществом между компонентами. Анализ наблюдательных данных по двойным звездам позволяет предположить, что около 1% всех тесных двойных систем имеют периоды меньше $10—12$ час и, следовательно, теряют всю энергию орбитального движения на излучение гравитационных волн. Это — системы, состоящие из двух невырожденных водородно-гелиевых звезд, не заполняющих полость Роша, системы из двух вырожденных карликов и катаклизмические двойные звезды, число которых намного меньше числа звезд в двух первых группах. Вначале, как мы уже указывали, компоненты систем сближаются, а затем, после заполнения полости Роша, начинают расходиться. Интенсивность гравитационного излучения нарастает по мере сближения, и происходит как бы вспышка, продолжительность самой яркой фазы которой $\sim 10^2—10^3$ лет, если звезды системы вырождены, и $\sim 10^{10}$ лет, если заполняющая полость Роша компонента не вырождена. В случае, когда компонентами системы являются нейтронные звезды, продолжительность вспышки составляет примерно 10^{-3} с.

Зная число звезд, которые ежегодно заканчивают эволюцию таким образом, можно найти усредненный по времени поток излучения гравитационных волн от звезд вблизи Земли. При сближении компонент двойной системы с равными массами M в виде гравитационных волн может излучиться энергия $E = -GM^2/2a$ (где G — постоянная тяготения). Если орбита системы круговая, то частота гравитационных волн равна половине частоты орбитального обращения ω . Отсюда для спектральной плотности излучения получаем выражение: $\frac{dE}{d\omega} \sim \frac{1}{3} \left(\frac{G}{M} \right)^{2/3} \frac{M^{5/3}}{\omega^{1/3}}$. Оценив число систем, состоящих из двух вырожденных карликов, и приняв, что сред-

нее расстояние до них равно характерному размеру Галактики (10 кпс), можно найти зависимость от частоты усредненного потока гравитационного излучения у Земли.

Еще один источник излучения гравитационных волн, о котором стоит упомянуть, — коллапсирующие звезды (сверхновые). Причиной возникновения в них импульса гравитационного излучения продолжительностью $\sim 10^{-3}$ с (это время свободного падения для коллапсирующего ядра звезды) является несферичность этих ядер, обусловленная их вращением и, возможно, сильным магнитным полем. Энергия, выделяющаяся при коллапсе в виде гравитационных волн, зависит от углового момента коллапсирующего ядра и по существу оценок может достигать $\sim 10^{-2} Mc^2$, где M — масса ядра звезды. Для получения более определенных оценок необходимо исследовать вращение молодых массивных белых карликов, так как можно ожидать, что по характеру вращения они сходны с ядрами предсверхновых. Как видно из графика зависимости потока гравитационных волн от их частоты, катаклизмические двойные звезды, состоящие из вырожденных компонент, должны быть наиболее мощным источником фонового гравитационного излучения от звезд.

Чтобы наблюдать это излучение, необходимы приборы, способные выделить очень слабый сигнал и имеющие большое время накопления. Создание таких приборов пока дело будущего.

Итак, гравитационное излучение оказалось фактором, который может играть определяющую роль в эволюции многих двойных звезд с коротким орбитальным периодом. Уже сейчас мы знаем ряд систем, эволюция и наблюдаемые параметры которых скорее всего определяются излучением гравитационных волн. Следующим шагом на пути подтверждения существования гравитационного излучения должен быть поиск новых короткопериодических двойных звезд, а также создание достаточно чувствительных приемников излучения гравитационных волн. Положительный результат экспериментов по регистрации гравитационных волн был бы, во-первых, еще одним доказательством справедливости общей теории относительности и, во-вторых, открыл бы новый канал для получения астрофизической информации.

Старение и стабилизация полимеров

Н. М. Эмануэль



Николай Маркович Эмануэль, академик, академик-секретарь Отделения общей и технической химии АН СССР. Заведует сектором кинетики химических и биологических процессов Института химической физики АН СССР. Работает в области исследования кинетики химических и биологических процессов: окисления углеводов и других органических веществ, стабилизации полимеров, кинетики развития опухолевых процессов, лучевого поражения и действия радиопротекторов, старения организмов и действия геропротекторов на молекулярном уровне. Автор более 300 публикаций. Член ряда иностранных академий наук. Лауреат Ленинской премии.

О научно-техническом прогрессе в области химии судят чаще всего по появлению в повседневной жизни и технике новых материалов с особо полезными или уникальными свойствами.

В этом отношении на протяжении уже ряда десятилетий едва ли не первое место занимают полимерные материалы. Их производство продолжает неуклонно расти во всем мире, несмотря на серьезные трудности, испытываемые многими странами в получении исходного сырья, особенно нефти. В 1979 г. объем производства полимерных материалов достиг огромных масштабов и составил более 80 млн т. Без них нельзя представить сейчас ни одной отрасли промышленности, строительства, сельского хозяйства, медицины и быта.

Во многих случаях реальный полимер — это химическая система, включающая в качестве главного компонента высокомолекулярное соединение, а также различные добавки — пластификаторы, наполнители, красители, стабилизаторы, остаточные следы катализаторов и т. д.

В процессе переработки, хранения и эксплуатации полимеры подвергаются действию многочисленных физических и химических факторов (тепла, света, проникающей радиации, кислорода, влаги, агрессивных химических соединений, меха-

нических нагрузок). Это создает условия для иницирования и развития химических и физических превращений в полимере, обуславливающих в конечном счете потерю полезных свойств.

Поскольку такие изменения происходят во времени, термин «старение материала» наилучшим образом подходит для характеристики данных процессов.

МЕХАНИЗМ СТАРЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ

Наибольшее влияние на свойства полимеров оказывают реакции деструкции, протекающие с разрывом связей основной молекулярной цепи и приводящие к понижению молекулярной массы полимера. Обычно рассматриваемые термо-, фото-, механо-, гидролитическая деструкция, окисление — это частные случаи единого процесса старения, где изменение свойств материала определяется лишь одним фактором. Часто деструкция сопровождается образованием поперечных химических связей, приводящих к возникновению сетчатых структур (сшивание). В общем случае процесс старения включает в себя три основные стадии: иницирование — стадия образования активных центров; развитие старения — главная стадия, определяющая изменение свойств полимерного ма-

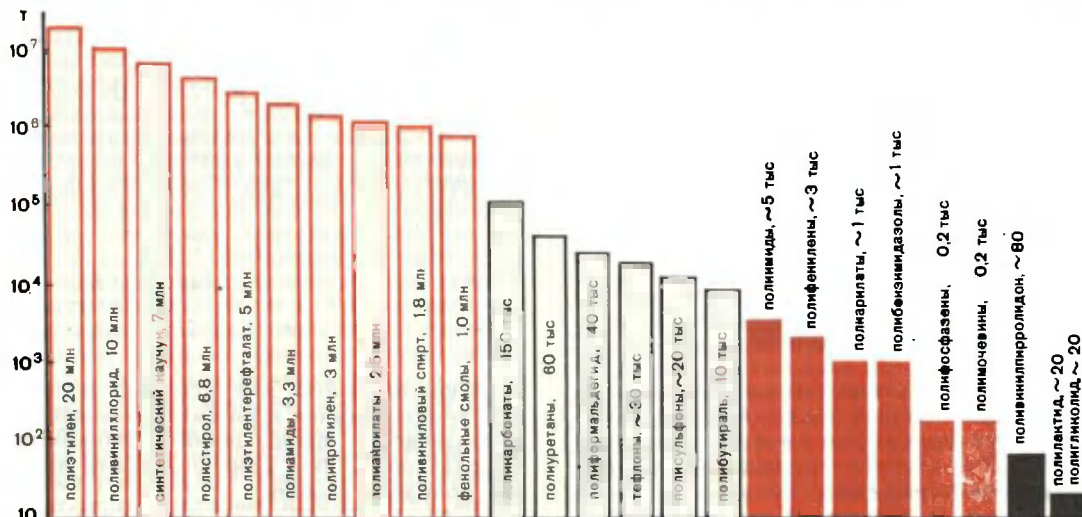
териала; стадия гибели активных центров старения.

Физико-химическая природа стадии инициирования может быть различной. При фотостарении — это элементарный процесс с участием ионов. При механодеструкции под действием механических сил происходит разрыв молекул с образованием свободных радикалов.

Развитие процесса старения практически не зависит от того, какой была природа инициирования. Например, фото- и радиационное старение протекают через

те же элементарные реакции, что и термическое старение.

Внешние условия в первую очередь определяют стадию инициирования (образование свободных радикалов, ионов, возбужденных частиц). Некоторые факторы влияют также на дальнейшее развитие старения. Например, присутствие кислорода переводит любой процесс в окислительный: термическую деструкцию — в термоокисление, фотолиз — в фотоокисление, механодеструкцию — в окисление в поле механических сил. Температура воз-



Мировое производство полимеров.

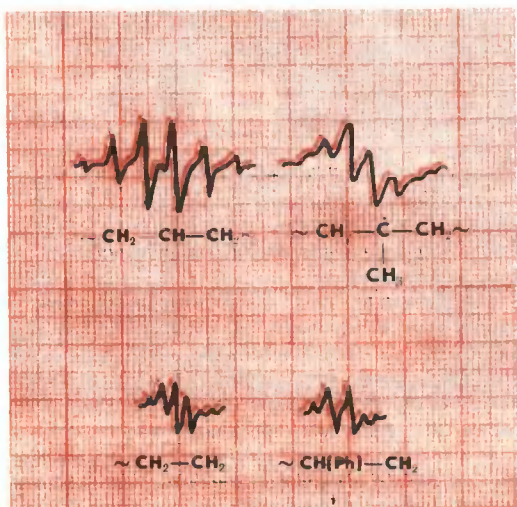


Изменение эксплуатационных свойств полимерных изделий при воздействии на полимер различных факторов.

действует практически на все элементарные стадии.

Разрушение многих материалов при их эксплуатации в естественных условиях чаще всего имеет свободнорадикальный характер. Ионные же механизмы обычно играют существенную роль при деструкции в агрессивных средах.

Свободные радикалы и ионы являются главными активными центрами процессов старения полимеров. Поэтому как область фундаментальных научных исследований старения полимеров есть, по сути



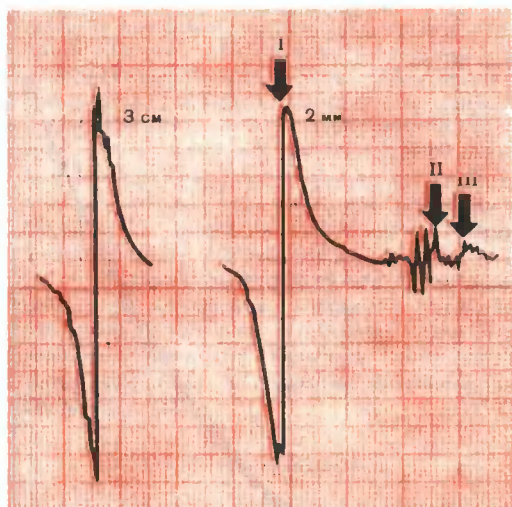
Спектры ЭПР срединных и концевых радикалов, образующихся при действии γ -излучения на полиэтилен и полипропилен (вверху) и образующихся из полиэтилена и полистирола при механодеградации и радиационном воздействии (внизу). Видно, что по характеру спектра можно идентифицировать радикалы, образующиеся в процессе старения полимеров.

дела, химия и физика сопряженных радикально-цепных, ионных и молекулярных превращений в сложных многокомпонентных системах.

В настоящее время имеется ряд методов, позволяющих определять концентрацию свободных радикалов и идентифицировать их строение. В первую очередь речь идет о методе электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), необычайно расширившем возможности изучения свободнорадикальных реакций. Этот метод используется для обнаружения макрорадикалов в полимерных системах. В многочисленных работах получены спектры ЭПР

«срединных» и «концевых» радикалов различной природы.

Тем не менее, несмотря на широкое применение данного метода, при изучении макрорадикалов возникает ряд трудностей, связанных с расшифровкой сложных спектров ЭПР реальных полимерных образцов. Правда, использование ЭВМ и методов современной квантовой химии позволяют получать информацию и в случае сложных сигналов ЭПР. Однако, если сигналы или спектры особенно сложны и представляют собой наложение сигналов



Сравнение спектров ЭПР радикалов политетрафторэтилена, полученных с помощью радиоспектрометров трехсантиметрового (слева) и двухмиллиметрового диапазонов (справа); I — перекисный, II — алкильный, III — аллильный радикалы. Видно, что в отличие от малоинформативного спектра ЭПР обычного трехсантиметрового диапазона спектр в диапазоне 2 мм позволяет различать перечисленные радикалы.

от разных химических центров, методы теоретического анализа малоэффективны.

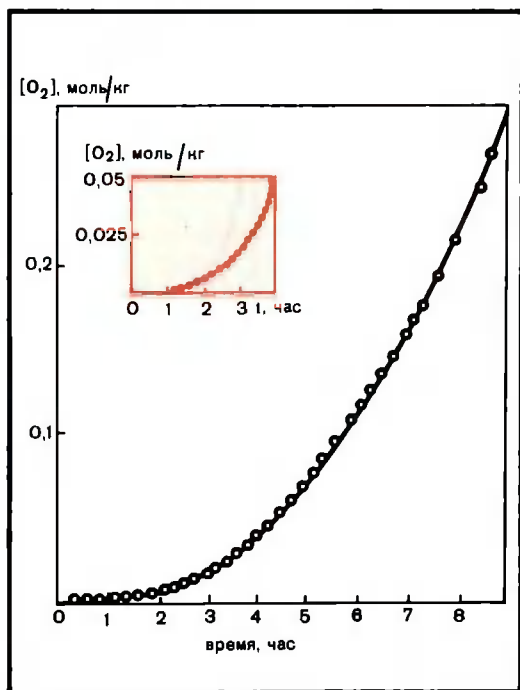
В большинстве лабораторий используются спектрометры ЭПР трехсантиметрового диапазона с напряженностью магнитного поля около 9000 Э.

Недавно для изучения свободных радикалов впервые была использована субмиллиметровая спектроскопия ЭПР. Напряженность магнитного поля в таком спектрометре достигает 50 000 Э (двухмиллиметровый диапазон). Расстояние между сигналами органических радикалов при этом оказывается в среднем в 15 раз больше, чем в обычном радиоспектрометре.

ре. Это позволяет регистрировать и анализировать спектры индивидуальных радикалов.

Таким образом, появляется уникальная возможность изучения кинетики сложных свободнорадикальных процессов, протекающих с участием нескольких сортов свободных радикалов.

Химические превращения в полимерной матрице обладают отличительными особенностями как реакций в твердой фазе, так и реакций высокомолекулярных соединений. Как и в любом твердофазном



Кинетика окисления полипропилена при 92°С. Использование специальной манометрической установки позволяет измерять количества поглощенного кислорода, начиная с самых начальных стадий окисления (цветная кривая).

процессе, на кинетику реакций в полимерной матрице существенно влияют перенос реагентов и окружение активных центров.

Полимерный материал имеет, как правило, сложную структуру. В нем можно выделить ряд областей, отличающихся по степени упорядоченности расположения полимерных цепей и, как следствие, по своей реакционной способности. Наиболее упорядочены области со структурой, близкой к идеальному кристаллу. Они характеризуются плотной упаковкой полимерных це-

пей и сравнительно низкой реакционной способностью. Кристаллические области с различными дефектами структуры могут иметь большую проницаемость для относительно малых молекул и несколько повышенную реакционную способность. Наконец, наименее упорядоченные, т. е. аморфные, области обладают максимальной реакционной способностью. При этом очевидно, что на процесс старения полимерного материала влияет его надмолекулярная структура.

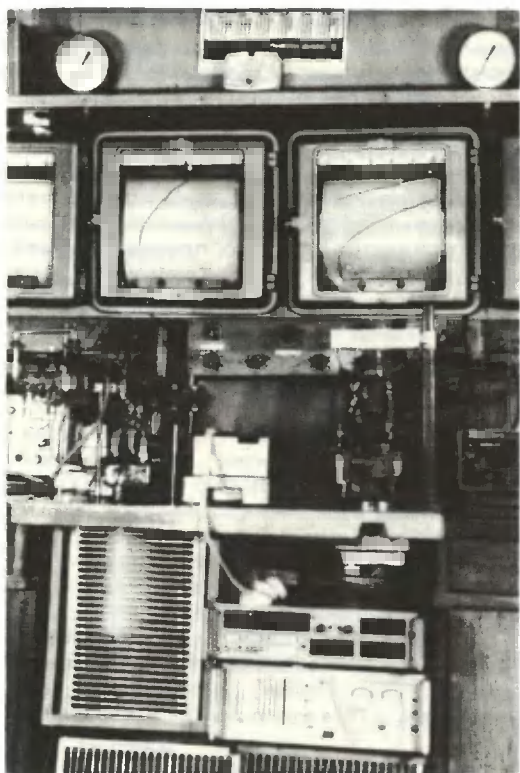
Пожалуй, из всех частных случаев старения наибольшее внимание было уделено кинетике термо- и фотоокисления полимеров. Возможно, это объясняется тем, что данные процессы весьма близки к хорошо изученному окислению в жидкой фазе органических веществ. Например, достаточно хорошо исследована кинетика окисления полипропилена. Для этого применялась специальная высокочувствительная манометрическая установка, позволяющая измерять количества поглощенного кислорода начиная с самых начальных стадий окисления.

Казалось бы, кинетика накопления продуктов окисления полимеров представляет чисто теоретический интерес. Для практического использования важно знать изменение конкретных характеристик материала: например, физико-механических, т. е. относительного удлинения при разрыве, предела прочности при растяжении и т. д. Однако динамика изменения физико-механических свойств полимера оказывается связанной с кинетикой химического процесса старения и может быть рассчитана на основании измерения его кинетических характеристик.

Зная механизм и кинетику, можно будет разработать общую количественную теорию деструкции и старения полимеров и управлять протеканием данных процессов. Это имеет большое практическое значение для решения целого ряда важнейших народнохозяйственных задач.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ

Задача стабилизации — сохранить исходные свойства полимеров при самых различных воздействиях в условиях производства, хранения и эксплуатации. Достичь этого можно, используя специальные добавки — стабилизаторы. Их значение трудно переоценить. Защита полимеров от старения путем стабилизации в ряде случаев может повысить сроки службы изделий в



Автоматическая система тестовых испытаний (АСТИ), созданная в Институте химической физики АН СССР.

2—4 раза. Это означает почти эквивалентное уменьшение потребности в производстве новых полимеров, не говоря уже о других преимуществах применения более стабильных материалов. Интересно заметить, что добавки стабилизаторов сравнительно невелики. Это видно, в частности, из того, что мировое производство стабилизаторов составило в 1979 г. около 1,1 млн т, т. е. примерно 1,4% от тоннажа производимых полимеров.

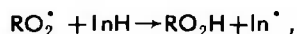
Знание детального механизма старения полимерных материалов позволяет разрабатывать эффективные способы их стабилизации.

Недавно в секторе кинетики химических и биологических процессов ИХФ АН СССР разработана автоматизированная система тестовых испытаний (АСТИ) эффективности стабилизаторов. Система рассчитана на обработку экспериментальных данных, передаваемых в ЭВМ по телетайпной связи при любом удалении передающего телетайпа от ЭВМ. Это открывает возможность централизации об-

работки результатов испытаний, проводимых в любых периферийных институтах или заводских лабораториях.

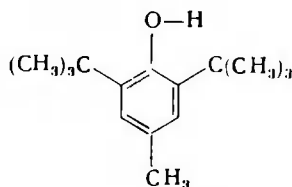
Каков же механизм стабилизации? Очевидно, что всякого рода покрытия, защищающие полимеры от контакта с химическими и физическими агентами, должны повышать их устойчивость или стабильность. Существует целый ряд добавок, обладающих специфическими свойствами. Фотоабсорберы способны поглощать активный свет, тушить возбужденные состояния молекул полимера и тем самым предотвращать фотоиницированное разрушение полимеров. Светостабилизаторы ликвидируют активные центры химических фотопревращений. Абсорберы кислорода поглощают кислород и т. д. Но главными среди них являются, пожалуй, акцепторы радикалов, способные захватывать свободные макрорадикалы — основные активные центры старения полимеров. Акцепторы радикалов могут действовать как антиоксиданты, термо- и светостабилизаторы, антиутомители, антиозонаты.

Наиболее важной элементарной реакцией, объясняющей механизм действия антиоксидантов как стабилизаторов термоокислительного старения, является их взаимодействие с гидроперекисными радикалами RO_2^{\cdot} :

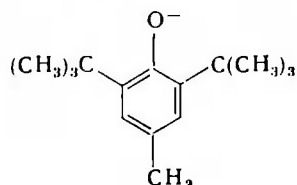


где InH — молекула ингибитора (стабилизатора). Здесь In — основной фрагмент молекулы ингибитора, а H — наиболее подвижный атом водорода¹. Легко отрываясь

¹ Например, в широко распространенном стабилизаторе — ионоле

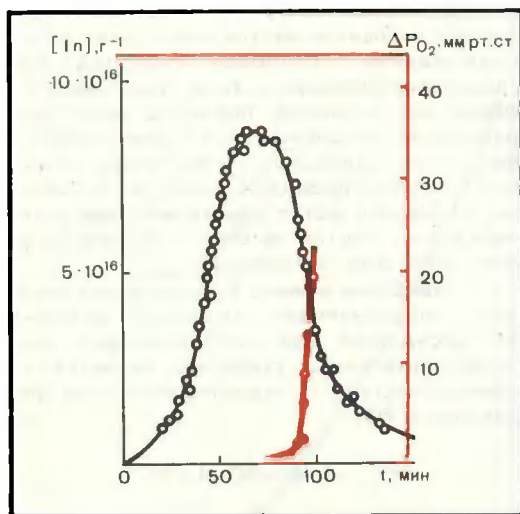


основным фрагментом In будет:



от молекулы ингибитора, он соединяется с активным радикалом RO_2^{\cdot} и обеспечивает эффект ингибирования. В результате приведенной элементарной реакции из полимерного материала «убирается» активный радикал RO_2^{\cdot} и заменяется малоактивным радикалом ингибитора In^{\cdot} . В определенных условиях это приводит к подавлению термоокислительного старения.

Одним из интереснейших эффектов, важных для практики стабилизации, является синергизм. Он возникает при использовании различного рода химических ком-

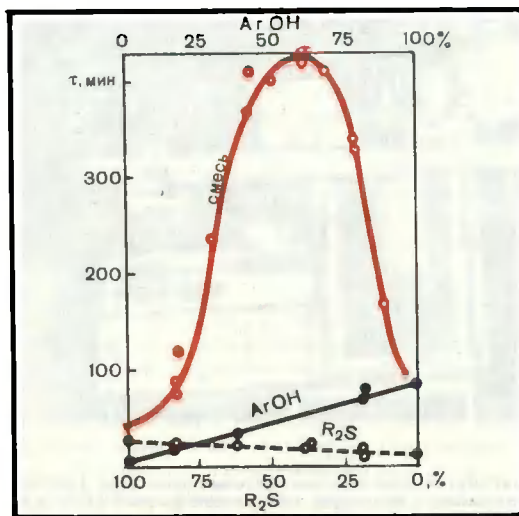


Кинетика изменения концентрации стабилизатора α -нафтола при окислении расплава полипропилена. Видно, что в течение некоторого периода поглощения кислорода не происходит (период индукции) и концентрация поглощенного кислорода $\Delta P_{O_2} = 0$, а концентрация радикалов $[In]$ в веществе растет. Когда количество стабилизатора в системе уменьшается, начинается реакция окисления (поглощение кислорода).

позиций для целей стабилизации. Это явление заключается во взаимном усилении действия двух антиоксидантов в смеси: суммарный эффект стабилизации часто намного превосходит суммарное действие двух компонентов.

Интересным примером такого рода служит процесс окисления полипропилена в присутствии стабилизаторов при $200^{\circ}C$. При введении в систему смеси антиоксидантов — фенола и сульфида — происходит следующее. Один компонент системы обрывает цепи (фенол), но одновременно реагирует с гидроперекисями, образуя

свободные радикалы и увеличивая тем самым скорость разветвления цепей. Другой компонент (сульфид) разрушает перекиси, количество которых растет из-за этих разветвлений. Сульфид, разрушая разветвляющийся продукт (перекиси), ликвидирует наиболее вредную функцию антиоксиданта: разветвление цепей. В результате суммарный эффект от применения смеси антиоксидантов намного превышает величину, получавшуюся бы при простом арифметическом сложении отдельных эффектов.



Явление синергизма при окислении полипропилена при $200^{\circ}C$. Количественно эффект от применения ингибиторов можно оценить, измеряя зависимость периода индукции t от состава ингибирующей смеси. Показано действие дидацилсульфида $[R_2S]$, 2,6-дитретил-4-метилфенола $[ArOH]$ и смеси R_2S и $ArOH$ (0,2 моль/кг). Видно, что суммарный эффект от применения смеси ингибиторов намного превышает величину, получаемую при простом арифметическом сложении отдельных эффектов.

В практике вообще широко распространено использование не одного ингибитора, а смеси двух или нескольких. Объясняется это тем, что многие стабилизаторы в силу различных причин нельзя использовать в достаточных концентрациях. Например, некоторые из них придают полимерному материалу нежелательную окраску. Другие в отдельных случаях образуют свободные радикалы, которые вступают в реакции, способствующие разрушению полимера. Кроме того, стабилизатор может расходоваться в бесполезных побочных процессах.

Поэтому целесообразно создавать стабилизирующие композиции таким образом, чтобы основное количество ингибитора находилось в связанном состоянии, в некотором «депо», и действующая форма стабилизатора выделялась бы из него постепенно или по мере необходимости. Так, в качестве «депо» могут выступать соединения — включения, из которых ингибитор освобождается при термо- или фотораспаде.

Еще один необычный принцип стабилизации полимерного материала основан на диффузии стабилизатора в зону разрушения из другой, неразрушаемой области. Подобный синергический эффект возникает при совместном действии смеси УФ-абсорбера и ингибитора-антиоксиданта. В присутствии УФ-абсорбера свет не проникает в объем полимерного образца. Фотоокисление протекает только в поверхностном слое, где расходуется ингибитор. Возникает градиент концентрации ингибитора, и последний диффундирует из объема полимера в поверхностный слой. Поскольку глубоко расположенные слои служат источником ингибитора, образцы большей толщины окисляются медленнее, чем тонкие.

На основе этого механизма можно объяснить влияние режима облучения на светостойкость полимера. В условиях периодического облучения эффект синергизма выше, чем в условиях непрерывного. В частности, повышению светостойкости способствует ночной перерыв в облучении. В ночное время диффузия повышает концентрацию антиоксиданта в поверхностной зоне полимера, где в течение дня шло его расходование.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕСТРУКЦИИ

Процессы деструкции полимеров не только играют нежелательную роль, но позволяют в отдельных случаях целенаправленно модифицировать свойства полимеров, получать ценные материалы и изделия. Реакцию деструкции используют для понижения молекулярной массы полимеров, что облегчает их переработку. Деструкция лежит в основе получения из природных полимеров ценных низкомолекулярных веществ: например, глюкозы из целлюлозы и крахмала.

Можно привести примеры современных технологий, основанных на процессах деструкции. При получении ситоподоб-

ных фильтров с заданным размером пор² используется именно такой принцип. Тонкая полимерная пленка (поликарбонатная или полиэтилентерефталатная) облучается заряженными частицами в ядерном реакторе или на ускорителе. Образующиеся треки диаметром около 100 Å обрабатываются раствором щелочи, и в зависимости от условий травления в результате деструкции получают цилиндрические поры заданного диаметра.

В ряде случаев эксплуатационные свойства полимерных изделий (например, волокон, пленок) определяются свойствами их поверхности. Химическая деструкция позволяет целенаправленно модифицировать свойства поверхности полимеров.

Пленки с шероховатой поверхностью используются в современных ЭВМ, в радиоэлектронной, видео- и звукозаписывающей аппаратуре, в электротехнической промышленности, в картографии.

Если проводить деструкционное травление на поверхности, в результате вскрытия микродефектов, например микропор, образуется шероховатость по мере разрушения поверхностного слоя полимера. При этом, благодаря расклинивающему давлению, микродефекты инициируют рост трещин.

Известно, что недостаток искусственных полиэфирных волокон — в их большой электризуемости. Применение антистатиков зачастую нежелательно, так как многие из них легко вымываются из полимера, раздражают кожу, слизистую оболочку глаз.

Для понижения электризуемости искусственных и синтетических волокон успешно используется поверхностная деструкция. Так, например, при травлении в щелочи диацетатных волокон на их поверхности образуется слой регенерированной целлюлозы. Электризуемость таких волокон уменьшается и не сильно отличается от электризуемости волокон из натурального хлопка.

УТИЛИЗАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ И ВТОРИЧНЫЕ ПОЛИМЕРЫ

Параллельно с ростом объема производства полимерных материалов, с расширением областей их применения увеличиваются объемы их отходов. Уже в насто-

² Подробнее о таких фильтрах см.: Очистка биологических растворов в ядерных фильтрах. — Природа, 1978, № 9, с. 132.

ящее время проблема загрязнения такими отходами окружающей среды актуальна для многих развитых стран.

В мировой практике наметились три основных тенденции решения этого вопроса: биологическое разрушение полимеров, сжигание использованных полимеров и отходов производства в качестве горючего и, наконец, вторичная переработка этих материалов.

Большинство синтетических пластмасс и полимеров устойчиво к воздействию биологических и других факторов, что затрудняет проблему утилизации отходов и распад этих материалов в окружающей среде. Вот почему с экологической точки зрения серьезное значение имеет производство биоразрушаемых полимеров для изготовления упаковочных материалов, мульчи в сельском хозяйстве, шовных нитей и противожоговых средств в медицине и т. д.

Сжигание полимерных отходов в качестве горючего часто наносит вред окружающей среде, в частности, из-за выделения целой гаммы токсических веществ.

Однако следует иметь в виду, что уже использованные полимеры являются новым источником органического сырья, из которого можно получить так называемые вторичные полимерные материалы. Это особенно важно при современной острой нехватке органического сырья в мире. В СССР сырьевая база для получения вторичных полимеров быстро растет.

В настоящее время в мире работают десятки заводов, выпускающих тысячи тонн вторичного полиэтилена, по своим механическим свойствам мало чем отличающегося от исходного (первичного). Однако по химическому составу вторичные полимерные материалы существенно разнятся от первичных большим количеством продуктов деструкции и окисления, образовавшихся в ходе первичной эксплуатации. Поэтому стойкость к старению у таких материалов часто бывает значительно ниже, чем у первичных.

Вместе с тем механические свойства первичного полиэтилена мало меняются за один сезон эксплуатации в качестве пленочного покрытия парников. Если же парниковую пленку изготовить из вторичного полиэтилена, содержащего в своем составе более 0,3 М карбонильных соединений, то она не выдержит еще одного сезона эксплуатации. Это связано с тем, что карбонильные соединения поглощают ультрафиолетовую составляющую солнечного

света, что и приводит к быстрому разрушению полимера. В то же время вторичный полиэтилен можно с успехом использовать в закрытых помещениях, поскольку солнечный свет, прошедший туда через стекло, не содержит уже ультрафиолетовой составляющей. Кроме того, вторичный полиэтилен можно применять в качестве тары, упаковок, а также в изделиях с небольшим сроком службы. В частности, целесообразно использовать его в качестве фоторазрушающегося полимерного материала. Отслужившее необходимое время, он будет относительно быстро разрушаться под действием солнечного света и не так сильно загрязнять окружающую среду, как изделия из первичного полиэтилена.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Прогнозирование изменения эксплуатационных свойств и определение долговечности полимерных материалов — первостепенная задача. Знание строгих критериев постоянства свойств полимеров позволяет ответить на вопрос: как далеко может идти деструкция, чтобы полимер практически не потерял своих первоначальных свойств. С точки зрения химической физики, изменение во времени (t) свойств Y полимерного материала в условиях x (тепло, влага, проникающая радиация, кислород, агрессивные химические среды, биологические среды, механические нагрузки) можно описать системой уравнений для многомерного пространства:

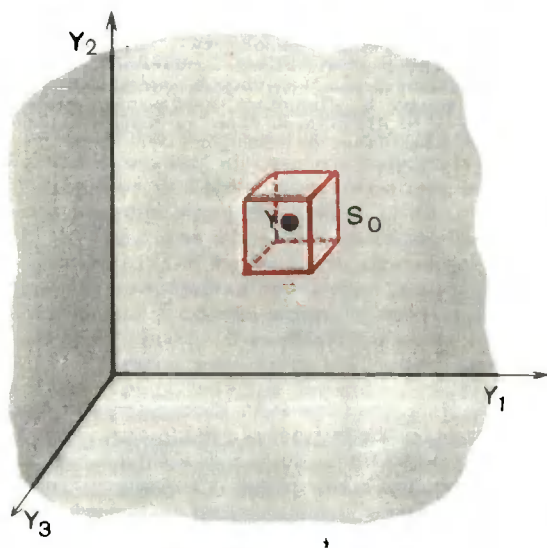
$$Y = f(x, t).$$

Материал пригоден для эксплуатации в течение периода времени t , по истечении которого в условиях x точка Y покинет в этом пространстве некоторую область эксплуатационной пригодности S_0 . В принципе, такого рода задача доступна решению в общем виде средствами современной вычислительной техники.

Полимерные материалы подвергаются действию внешней среды, приводящему к необратимому ухудшению их эксплуатационных свойств. Поэтому правильное определение срока службы полимерных материалов в изделии и выбор оптимального материала для конкретного изделия имеет огромное практическое значение.

Выбор материала для данного изделия, оптимизация условий его эксплуатации приобретают особую важность в связи с постоянным появлением новых мате-

риалов и расширением областей их применения. Критерий оптимальности требует, чтобы сроки службы изделия и всех составляющих его деталей и материалов были близки. Слишком долговечные материалы не всегда оптимальны, поскольку они обычно более дороги. Правильное определение сроков службы позволяет, с одной стороны, избежать лишних затрат материалов на преждевременную замену еще пригодных к эксплуатации изделий. С другой стороны, это предотвращает аварийную ситуацию, связанную с выходом из



Качественная картина изменения во времени совокупности свойств полимера Y (частный случай — точка в трехмерном пространстве). Материал пригоден для эксплуатации в течение периода времени t , по истечении которого в условиях x точка Y покидает в этом пространстве некоторую область эксплуатационной пригодности S_0 .

строю изделия вследствие того, что оно эксплуатировалось сверх срока работоспособности материала.

Срок службы полимерного изделия определяется свойствами материала, условиями эксплуатации и предъявляемыми к нему требованиями. Если полимерные изделия эксплуатируются в жестких условиях и изменяют свои эксплуатационные свойства в течение непродолжительного времени, то предсказать срок их службы не представляет большого труда. Однако чаще всего полимерные изделия обладают достаточно высокой стойкостью в условиях эксплуатации и изменение их свойств

происходит настолько медленно, что чрезвычайно трудно экспериментальным путем определить их срок службы. В таких случаях лабораторные испытания полимерных изделий обычно проводят в экстремальных условиях (высокая температура, большая концентрация кислорода, высокие механические напряжения и т. д.) и далее рассчитывают срок службы полимерного изделия в условиях его эксплуатации.

Большое значение имеет прогнозирование сроков службы имплантатов в организме человека. Взаимодействие полимеров с организмом — это многофакторный процесс, для понимания которого необходимо исследовать процессы разрушения полимерных имплантатов и метаболитов продуктов распада. Соответствующие данные позволяют биоинженерам правильно рассчитывать размеры протезов и деталей искусственных органов и, в свою очередь, хирургам определять, как долго имплантат сохранит свои эксплуатационные свойства.

Накопление количественных данных по кинетике и механизму старения полимеров и механизму действия стабилизаторов поставит проблему прогнозирования на строго научную основу.

Таким образом, к настоящему времени область старения и стабилизации полимеров оформилась в важную главу химической науки, связанную с изучением химических изменений полимеров и полимерных материалов и разработкой рациональных способов управления этими изменениями.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Эмануэль Н. М. НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ СТАРЕНИЯ И СТАБИЛИЗАЦИИ ПОЛИМЕРОВ.— Успехи химии, 1979, т. 48, № 12, с. 2113.

Гладышев Г. П., Ершов Ю. А., Шустова О. А. СТАБИЛИЗАЦИЯ ТЕРМОСТОЙКИХ ПОЛИМЕРОВ. М.: Химия, 1979.

Моисеев Ю. В., Заиков Г. Е. ХИМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ПОЛИМЕРОВ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ. М.: Химия, 1979.

Рэнби Б., Рабек Я. ФОТОДЕСТРУКЦИЯ, ФОТООКИСЛЕНИЕ, ФОТОСТАБИЛИЗАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ. М.: Мир, 1978.

Шляпникох В. Я. ФОТОХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ И СТАБИЛИЗАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ. М.: Химия, 1979.

Научные сообщества

А. Е. Левин



Алексей Ефимович Левин, кандидат философских наук, младший научный сотрудник сектора диалектического материализма Института философии АН СССР. Работает над проблемами гносеологии, теории науки и семиотики. В «Природе» опубликовал статьи: *Неизбежное после* (1976, № 4); *Модель науки «в первом приближении»* (1976, № 10); *Миф. Технология. Наука* (1977, № 3).

Научное понимание любого объекта немислимо без создания системы абстракций, на базе которой осуществляется его теоретическое описание. Это в полной мере относится и к самой науке, коль скоро она оказывается предметом изучения тех или иных дисциплин. Сегодня число таких дисциплин весьма значительно — наука привлекает внимание философов и историков, социологов и экономистов, психологов и политологов, в результате чего возникает множество новых специальностей: история науки, социология науки, экономика науки и т. п. Все эти специальности, интенсивно развиваясь и постоянно взаимодействуя друг с другом, создают тот фокус исследовательской деятельности, который получил ныне и самостоятельный статус, и довольно высокий престиж, и, что немаловажно, собственное имя науки о науке, или науковедения.

Два слова, стоящие в заголовке этой статьи, образуют в своем сочетании едва ли не важнейший науковедческий термин, представляющий одну из наиболее фундаментальных абстракций, используемых для теоретического моделирования научной деятельности. Как и любая абстракция, она имеет ограниченный и в какой-то мере условный характер — идея сообщества утверждает существование определенного

единства, специфической солидарности, и, говоря о реальности сообществ ученых, мы вынуждены сознательно отвлекаться от того, что они могут в то же время придерживаться весьма различных взглядов по множеству вопросов (политических, социальных, идеологических, культурных и т. п.), не связанных с их профессиональной деятельностью. Но, как и любая плодотворная абстракция, понятие научного сообщества говорит нечто о реальном мире науки и о характере той солидарности, которая связывает между собой ученых, где бы они ни жили и чем бы ни занимались (ее примером является, например, деятельность Пагуошских конференций или международных федераций научных работников, в которой активно участвуют и советские ученые), и которую, вероятно, мы должны считать одним из ценнейших культурных итогов исторической эволюции науки, не уступающим по важности создаваемому наукой знанию. Специфику этой солидарности нам и предстоит рассмотреть.

СООБЩЕСТВА

Энциклопедический словарь Брокгауза определяет сообщество как группу людей, ощущающих единство своего существования и своих действий, которое возни-

кает на основе общих помыслов, чувств и желаний. Жизнь сообщества правит взаимная близость его членов, а не борьба за индивидуальные интересы. Это толкование отражает не только общезыковую семантику слова, но и его употребление в качестве социологического термина. Различные школы, использовавшие понятие сообщества, расставляли собственные акценты. Так, американская социология выдвигала на первый план «экологические» характеристики, считая основным признаком сообщества совместное проживание его членов на ограниченной территории, порождающее общие интересы и устойчивые личные связи. Европейской социологической мысли, напротив, более свойственна «культурная» интерпретация: сообщество возникает и сохраняется в силу того, что люди осознают или только ощущают свое глубинное сродство, безоговорочную близость своих идеалов, целей и интересов.

При всех терминологических вариациях нетрудно проследить основное ударение: сообщества создаются только естественным, органическим притяжением между людьми. В сообщество нельзя войти, оставаясь равнодушным к его ценностям и лишь внешне приспосабливаясь к его требованиям; те и другие должны стать неотъемлемой частью интересов и устремлений индивидуума. Противопоставление всеобъемлющего и частичного, безусловного и произвольного, естественного и навязанного лежит в основе социологического выделения групп интересующего нас типа. Именно оно в свое время и было зафиксировано классиком европейской социологии Ф. Тённисом, к работам которого восходит разграничение ассоциаций, образующихся на почве связей того или иного рода, «сообществ» и «обществ»¹.

Какое отношение может все это иметь к современной науке? Возможно, сообществом был оксфордский «невидимый колледж» — объединенный Р. Бойлем и Р. Гуком кружок естествоиспытателей, деятельность которых положила начало Лондонскому королевскому обществу. Вероятно, сообществом надо считать и «общество Аркёйля» — группу парижских физиков и химиков, возглавлявшуюся П. Лапласом и К. Бертолле (ее члены собирались в местечке Аркёйль, где у Бертолле был загородный дом с частной лабораторией). Быть может, наконец, эпоха «ма-

лой» науки вообще благоприятствовала возникновению сообществ — исследования еще не приобрели нынешнего «конвейерного» характера; ученым было нетрудно поддерживать личные связи; они были свободны в выборе проблем и обсуждении своих идей и результатов. Но откуда взяться сообществам сегодня в «большей», управляемой, регулируемой науке, разделенной национальными и административными границами, связанной множеством общественных запросов, предписаний и правил?

Все это можно выразить и в менее эмоциональной форме. В нашем веке научные исследования стали профессией — а в последние десятилетия профессией массовой. Но профессиональная деятельность является «функциональной» — человек имеет вполне определенный круг обязанностей, которые он должен выполнять в течение определенного времени. Они могут быть сложными или простыми, требовать высокой квалификации, дающейся лишь годами обучения и длительной практикой, или сводиться к механическому повторению элементарных действий. Но в любом случае они заповедуют лишь какой-то отдельный сегмент человеческого существования, ибо подчинены вполне конкретным, ограниченным и отграниченным, в той или иной мере «техническим» целям. Выбирая профессию, человек автоматически принимает ее требования, но они не могут регулировать его поведение вне ими же поставленных рамок. Профессиональная солидарность — это единство «коллег», а не «соратников», она не обязана затрагивать основ личности. Таковы, во всяком случае, все многочисленные «обычные» профессии. Может быть, и столь распространенное сегодня понятие научного сообщества — просто результат терминологической путаницы?

И тем не менее даже среди современных ученых-профессионалов найдется немало людей, готовых самым энергичным образом протестовать против такого вывода. Они-то не сомневаются, что существуют какие-то незримые связи, объединяющие «настоящих» исследователей независимо от их профессиональной, организационной или национальной принадлежности. Они ощущают себя участниками невидимого, но от того не менее прочного «братства», принимая его цели и идеалы как глубоко личные ценности, поддерживая их собственными усилиями, оправдывая и защищая перед внешним миром. Те, кто чувствуют себя его членами, чувствуют

¹ Tönnies F. Gemeinschaft und Gesellschaft. Leipzig, 1887.

и личную ответственность за его судьбу, а тем самым — и за поведение друг друга. И хотя эта картина идеализирована, нет сомнений, что ей все же отвечает какая-то реальность, которая и позволяет ввести теоретическое понятие Научного Сообщества. На фоне этой реальности существование отдельных научных сообществ различных видов представляется уже менее удивительным.

Что же такое сообщества ученых, и прежде всего — Научное Сообщество? Как возникло представление о нем и как оно развивалось? Что описывают науковедческие модели Научного Сообщества? Об этом я и попытаюсь рассказать.

НАУКА КАК ЭТОС

Термин «научное сообщество» впервые используется в выступлении М. Ползны² перед Манчестерским литературно-философским обществом в феврале 1942 г. Представление о сообществе ученых естественно вытекает из развитой им концепции научной деятельности. В противоположность неопозитивистской модели научного знания, находящейся в то время в зените своего влияния, Ползны видел специфику науки не в формах ее связи с опытом и не в создаваемых ею интеллектуальных конструкциях, но в социальных отношениях между учеными. В их основе лежат убеждения о чисто человеческих ценностях научной деятельности, объединяющие ее участников неизмеримо сильнее, нежели это могла бы сделать одна лишь потребность в совместных усилиях, направленных на умножение научного знания. Эти ценности порождают и одновременно обосновывают возникающие в научной среде нормы социального поведения, формируя в совокупности с ними систему социальных регуляторов науки. В контексте этой глобальной ценностно-нормативной ориентации науки возникают и те «проблемные» перспективы, которые объединяют отдельные группы ученых, выделяя их из всей массы участников научной деятельности.

Разумеется, ученым делают человека знания, труд, результаты труда, а не пассивное принятие каких-то ценностных установок: подобное принятие просто невозможно, поскольку эти установки усваи-

ваются лишь в процессе профессионального становления. Обучаясь думать, ставить и решать задачи, видеть мир в соответствии с требованиями и традициями своей социальной среды, человек тем самым воспринимает и хранит ее фундаментальные ценности, а те образцы поведения, которые он постоянно наблюдает, делаются постепенно и его индивидуальными «поведенческими моделями». Нормы, на основе которых получается, оценивается и интерпретируется научная информация, и нормы социальной жизни науки взаимосвязаны и не существуют друг без друга.

Нельзя стать настоящим ученым, не поняв и не разделив до конца, до глубин собственного существования ценности и идеалы, поддерживаемые научным миром. Принимая их, ученый начинает разделять ответственность как за прогресс научного знания, так и за сохранение устоев социальной среды, которая производит знание. Именно поэтому научный мир и образует сообщество. Это глобальное Научное Сообщество распадается на отдельные сообщества, связанные более частными установками — общим знанием, общими исследовательскими традициями, методами и программами, общими задачами и ожиданиями. Но хотя связи, объединяющие такие локальные сообщества, могут иметь по преимуществу технический характер, в них на деле преломляются фундаментальные ценности научной деятельности. Поэтому и такие формы солидарности порождают глубокую личную заинтересованность ученых в успехе их совместного труда, который они рассматривают как вклад в развитие своей специальности, а в конечном счете — в развитие всей науки.

О структуре Научного Сообщества еще пойдет речь впереди. Возвращаясь к идеям Ползны, надо отметить, что он рассматривает ценности науки и надстраивающиеся над ними поведенческие нормы как некий «нравственный кодекс», систему этических принципов. Эта мысль очень важна — ведь такие принципы, в отличие от простых правил «хорошего тона», соблюдающихся в силу удобства и общепринятых условностей, в отличие от любых предписаний, инструкций, «алгоритмов», регулирующих чисто функциональные действия, затрагивают основы человеческой личности, а поэтому создают естественное, органическое единство своих носителей. Поэтому первичная функция Научного Сообщества состоит в том, что оно поддерживает и охраняет эти принципы, или, в социологических терминах, этос науки.

² Polanyi M. The Logic of Liberty. Chicago, 1951, p. 49—67.

Этические принципы науки описаны Ползныи весьма детально. Для нас важно зафиксировать в качестве основы последующих рассуждений лишь сам вывод: существует незримый «союз» ученых, чья солидарность создается единством ценностей и этических принципов и которые поэтому образуют интернациональное сообщество. Теперь надо попытаться объяснить, почему становление науки как профессии привело к формированию такого сообщества.

Зарождение современного научного этоса прослеживаются уже в XVI и, более определенно, в XVII в. Однако объяснения, ограниченные лишь этими периодами, не слишком полезны — наука в те годы была частным делом лишь немногих энтузиастов, не требовавших от общества ни какого-то особого признания, ни значительной материальной помощи, рассчитывавших, главным образом, или на собственные средства, или на благосклонность меценатов³. Поэтому тогдашние научные кружки действительно были группами единомышленников. Но профессиональная наука нуждается в постоянной социальной поддержке, которая не предоставляется безвозмездно. С другой стороны, всякая профессия организует удовлетворение каких-то общественных потребностей, подчиняя им свои внутренние нормы. Почему же унаследованные от прошлого зачатки научного этоса не превратились просто в правила профессионального поведения?

ПРОФЕССИОНАЛИЗАЦИЯ НАУКИ

Превращение науки в профессию растянулось на два столетия, начавшись в XVIII в. Фундаментальная наука тогда была по преимуществу детищем академий — Парижской, Петербургской, Берлинской. Претендующий на просвещенность абсолютизм нуждался в повышении своего престижа, а бюрократическое государство — в наличии высококвалифицированных советников и технических консультан-

тов. Организация «королевских» и «императорских» академий была попыткой интегрировать науку в систему правительственного истеблишмента, а ученых — в привилегированные сословия государственных служащих высокого ранга, конечно, в обмен на политическую и идеологическую лояльность.

Получив то, в чем им отказывалось раньше (общественный статус, жалованье, свободу исследований и публикаций, ответственную независимость от контроля церкви), ученые стремились сохранить эти достижения, настаивая на моральной и социальной нейтральности научного знания. Научные сообщества консолидируются на базе признания оправдывающих науку ценностей: объективности, беспристрастности, терпимости, доверия к опыту. Приобретая автономность, наука противопоставляла эти ценности внешнему миру, формируя и укрепляя тем самым собственный этос. Конечно, ученые, когда они выступали в качестве правительственных консультантов и администраторов, должны были подчиняться запросам государственной власти, но за это им гарантировалась относительная свобода обсуждения интеллектуальных и организационных проблем науки, так что становление этоса академических сообществ могло происходить без больших помех.

Носители этого этоса, академические сообщества, поддерживали и развивали традиции исследований (так, в частности, создавались зачатки внутринаучной специализации) и осуществляли интеллектуальный и социальный контроль научной деятельности (оценка новых результатов, установление приоритетов и т. п.). Тем самым они выполняли функции любых профессиональных групп. Академии стали средоточием научной элиты, причем «самоподдерживающейся», так как она же осуществляла и отбор своего пополнения. Объединив лучших ученых, академическая система обеспечила быстрый рост научного знания, однако здесь таилась и опасность: расширение фронта исследований вызывало необходимость в увеличении числа их участников, а развивающаяся специализация делала проблему профессионального обучения все более острой. Приспособиться к таким переменам система по ряду причин не могла. Возникла потребность в социальном институте, объединяющем организацию и профессиональную деятельность, и профессиональной подготовке. В следующем столетии эту роль выполнили университеты.

³ Лондонское королевское общество долгое время существовало лишь на членские взносы и пожертвования. Поддержка Парижской академии наук в первые тридцать лет ее существования была формой королевской благотворительности. Систематическое государственное субсидирование Академии возникает лишь в XVIII в. — оно было гарантировано Уставом, подписанным Людовиком XIV 26 января 1698 г.

Процессы «пересадки» науки с академической на университетскую почву достаточно сложны. Попытаемся объяснить главное: каким образом в результате такой пересадки научный этос не только диссипировался, но еще более укрепился? Ведь система высшей школы всегда была функциональной: осознавая потребность в том или ином виде образования⁴, общество поддерживало и его институты. Но получилось так, что наука закрепилась в университетах и одновременно была ограждена от утилитарных требований. Например, в Германии, где университеты впервые стали систематически поощрять исследовательскую деятельность, она считалась выражением «божьего дара», природной склонности ученого, а потому была как бы выведена из сферы действия формальных правил. Немецкие университеты существовали в основном на государственные субсидии и не были свободны от правительственного контроля, но он, вкупе с властью университетского сената, мог распространяться лишь на действия профессора как наставника и администратора, но не как исследователя⁵.

Английские университеты были практически независимы от государства, но больше связаны властью традиций с англиканской церковью; однако здесь господствовал дух индивидуализма, требующий считать исследования частным делом тех, кто ими занимался. Социальная роль профессионального исследователя, исследователя не «по вдохновению», как в Германии, и не «по собственному желанию», как в Англии, но по обязанности, по официальному положению возникает лишь в американских университетах уже в нашем сто-

летии. Свободное выполнение этой роли было гарантировано господствовавшими к этому времени в американской университетской среде представлениями об академических правах, которые включали признание независимости ученого в отношении выбора и разработки своей исследовательской программы; в отношении же учебного курса он оставался слугой общества.

Таким образом, социальный институт, «приютивший» профессионализирующуюся науку, расплачивался с обществом другими услугами, используя при этом часть поступающих в его распоряжение ресурсов на поощрение научных исследований. В выполнении этих услуг ученые были связаны определенными общественными требованиями, которые были различными в разное время и в разных местах. Но в отношении собственных исследований ученые были достаточно свободны от внешних запросов, что и позволило закрепиться этосу, управляющему этой стороной их деятельности. Процесс усиливался тем, что ученые, осознавая необходимость в защите академических свобод, старались подчеркивать (обычно устами своих лидеров) связь между этосом науки и достоверностью научного знания.

Профессионализация науки не только не разрушила, но и подкрепила ее традиционный этос — это оказалось возможным потому, что сформировалась «замкнутая на себя», «бесполезная» профессия. Будучи свободными от общественных запросов, профессиональные исследователи получили возможность регулировать свое поведение на основе внутренней солидарности.

Любая выделяющая себя группа особенно настоятельно поддерживает внутреннее единство, и превращение ее в сообщество, интегрированное собственным этосом, достаточно типично. Наука в этом отношении не слишком отличается от мажорской ложи, да она, собственно говоря, долгое время и осознавала себя в качестве своего рода ордена солидарных. Нужно только помнить, что солидарность членов религиозных общностей создается в первую очередь личной ответственностью перед богом, которая порождает и формы ответственности друг перед другом. Наука же возникла как культурная система, отстаивающая суверенность своих прав на познание доступной ей области реальности, и здесь на первое место вышло чувство личной ответственности ученого перед Сообществом. Наука не могла рассчитывать на

⁴ В XVIII в. традиции научных исследований развивались лишь в шотландских университетах, которые тогда оставались для Европы культурной периферией. Оксфорд и Кембридж готовили юристов, священнослужителей и «образованных джентльменов», в Германии делался особый акцент на подготовку учителей, чиновников и врачей.

⁵ Поэтому профессионализация науки в немецких университетах ограничилась созданием системы подготовки квалифицированных специалистов, подтверждающих свое право на самостоятельную деятельность защитой диплома и организацией постоянных лабораторий и семинаров. Интересно, что первые научные семинары были созданы лингвистами и историками еще в 20-е годы XIX в.; первый семинар по математической физике стал действовать в Кенигсберге под руководством Ф. Неймана и К. Якоби в 1834 г.

получение ключей от лежащего перед ней мира в виде дара свыше. Она должна была найти их сама, постоянно изобретая и оттачивая все новые познавательные ресурсы и конструируя критерии, на основе которых она проверяла значимость своих находок. Ученые чувствовали сильнейшую взаимозависимость своих индивидуальных вкладов, необходимость проверять, улучшать и развивать результаты друг друга, обратной стороной которой оказывалась необходимость во взаимном доверии и коллективной поддержке высоких стандартов исследований. Поэтому в научном этосе закрепились такие ценности, как самокритичность, интеллектуальная честность, даже своего рода интеллектуальный аскетизм, право на сомнение и на свободное выражение своего мнения, право отказа от дискуссий, бессмысленных с точки зрения узаконенных сообществом норм. Эти факторы создавали как специфику этоса науки, так и — причем в сильнейшей степени! — специфику совместных интересов ученых, придавая им действительно глубинный и органический характер.

До сих пор речь шла главным образом о внешних причинах формирования Научного Сообщества. Каковы же внутренние механизмы социальных взаимодействий между учеными, поддерживающие ценности научного этоса?

СИСТЕМЫ ВОЗНАГРАЖДЕНИЯ

Простейший ответ таков: Научное Сообщество настолько ценит свой этос, что поддерживает его сознательно и добровольно, в крайних случаях наказывая нарушителей; иначе говоря, ученые хорошо знают правила игры и в целом их соблюдают. Это объяснение можно принять (статистически оно неплохо подтверждается), но лишь в качестве первого шага: неизвестно, какими способами Сообщество подкрепляет такое отношение к научному этосу. Ведь наука — не государство, имеющее суды и тюрьмы, и не церковь, предающая отступников анафеме. С другой стороны, даже и без обращения к социологической теории довольно очевидно, что ни абстрактного знания норм, ни страха перед наказанием еще недостаточно.

Сообщество должно и вознаграждать своих членов, предоставлять им какие-то «блага» в обмен на поведение, в наибольшей степени отвечающее его интересам. Но не о денежных же призах может идти речь — иногда научные сообщества распределяют и такие награды (скажем, Но-

белевские премии), однако ценится в них все же не количество нулей в сумме, проставленной на чеке. Что же является ходовой монетой науки?

Первая модель системы вознаграждения, специфичная именно для научных сообществ, была построена в работах одного из лидеров современной американской социологии Р. К. Мертонa, признанного «отца» социологии науки⁶. Начальным этапом на пути к ее созданию стал предложенный Мертоном набор из четырех взаимосвязанных поведенческих императивов, который он рассматривал в качестве нормативного компонента научного этоса. Эти нормы таковы: универсализм (научные работы должны оцениваться только по их содержанию), коммуналность (полученное знание должно считаться общим достоянием), незаинтересованность (ученые действуют во имя прогресса познания, но не с целью удовлетворения эгоистических интересов), организованный скептицизм (ученые вправе требовать обоснования любых результатов). Именно такие императивы Научное Сообщество предлагает своим членам как основу для их индивидуальных решений.

Характер норм научного этоса обуславливает и специфику системы вознаграждения. В отличие от экономики наука создает, если так можно выразиться, бивалентную, основанную на обмене «благами» двух различных видов, систему обмена. Экономическая система моновалентна: товар, результат затраты труда, обменивается вновь на товар (деньги, как известно, служат лишь посредником при таком обмене). «Товар», который производит ученый, — это информация, но она-то в силу нормы коммуналности оказывается собственностью всего Сообщества: как только сообщение опубликовано, содержащиеся в нем данные открыты для использования. С другой стороны, согласно норме универсализма, оценка научной работы зависит лишь от ее качества, но не от статуса автора, его национальности, служебного положения и т. п. Поэтому такая оценка является естественной мерой признания коллегами заслуг ученого перед наукой, мерой «качества» его труда и может тем самым функционировать как

⁶ Достаточно элементарные интерпретации модели Мертонa можно найти в работе: Сторер Н. У. Социология науки. — В кн.: Американская социология. Перспективы, проблемы, методы. М.: Прогресс, 1972.

«внутреннее» вознаграждение, получаемое им от своего сообщества, а через его посредство — и от всего Научного Сообщества. Итак, обмен информации на признание — основа социального института науки в мертоновской модели.

Есть множество способов выражения такого признания — формальных и неформальных. К числу первых относится присвоение имени ученого результатам его работ или единицам измерений, ссылки на работы и включение их в обзоры и монографии, присуждение почетных наград, служебное продвижение и т. п. Виды неформального признания даже трудно перечислить — они прежде всего и создают не поддающееся точному учету, но очень действенное «общественное мнение» науки, распознающее значение заявок на новое знание. Эффективность этого оценочного механизма — важный довод в пользу реальности научных сообществ.

Описанная Мертоном система вознаграждения помогает понять и загадочную, казалось бы, устойчивость научного этоса. Дело в том, что научная профессия — одна из самых «ненадежных»: конкуренция здесь очень интенсивна, а шансы на крупный успех невелики. Однако Научное Сообщество предлагает своим членам немалую компенсацию — не сравнимое ни с чем чувство единства, сопричастности высоким целям и идеалам, гарантию нелицеприятной оценки их заслуг, обещание понимания и поддержки. Поэтому его ценности находили и находят множество защитников и сегодня, подобно тому, как раньше, когда наука была гораздо беднее и незащищеннее, когда она должна была поминутно доказывать свое право на существование, они помогли ей выжить и укрепиться. Не следует считать, что наука расплачивается с человечеством одним лишь точным знанием — ее моральные принципы являются не менее важным завоеванием человеческой культуры.

Обмен информации на признание — не единственная форма вознаграждения в науке. Например, для успешного функционирования относительно небольших и замкнутых сообществ типа отдельных исследовательских групп и так называемых проблемных сетей (о них речь пойдет далее) очень важен обмен идеями, программами, техническими усовершенствованиями, предварительными результатами и т. п.; короче говоря, обмен информации на информацию (его общеизвестным выражением является рассылка статей). Ученые поддерживают такие ком-

муникации потому, что признают взаимную ценность своих работ, и обмен, следовательно, выполняет функции системы вознаграждения. Поскольку информация распределяется и интерпретируется весьма избирательно, с учетом того, кто ее ожидает и от кого она получена, при таком обмене нарушаются нормы универсализма и коммунальности. Точно так же, когда ученые оказывают друг другу экспертные услуги, происходит обмен признания на признание.

ТИПЫ НАУЧНЫХ СООБЩЕСТВ

С научными сообществами происходит то же самое, что и с элементарными частицами: чем больше их изучают, тем больше их появляется. При этом картины, возникающие при различных углах зрения на Научное Сообщество, в каких-то аспектах даже оказываются несоизмеримыми.

Рассмотрим две допустимые перспективы структурирования Сообщества. Внутренние ресурсы науки (интеллектуальные, технические, социальные) можно в первом приближении разделить на два класса. С одной стороны, имеет смысл выделить оперативные ресурсы, использование которых составляет основу непосредственной, «сиюминутной» исследовательской деятельности. Сюда относятся, например, рабочие гипотезы и модели, аналитический аппарат, который создается в целях изучения их возможностей, экспериментальные устройства и методики, конструируемые в процессе решения локальных проблем. Роль оперативных ресурсов исследований будут играть и поддерживающие их социальные связи — отношения лидера с его сотрудниками, кооперация членов компактной исследовательской группы, коммуникации между различными группами, разрабатывающими одну и ту же проблематику, и т. п.

С другой стороны, параллельно с ресурсами этого типа можно выделить базисные ресурсы науки, служащие основой осуществления ее долговременных целей. К их числу относятся, скажем, различные институты, выполняющие функции центров научной профессионализации, массив «удостоверенного» научного знания и его структурные подразделения, каналы формальных коммуникаций, научные общества, постоянно действующие экспериментальные установки и т. д.

Что можно сказать о сообществах, солидарность которых создается использованием одних и тех же или достаточно

близких оперативных ресурсов? Наиболее элементарным представителем таких сообществ служит компактная группа исследователей, работающих под руководством одного лидера. Члены группы могут иметь различную профессиональную подготовку, но в совокупности они образуют «команду», связанную одной и той же исследовательской стратегией. Менее компактным формированием будет сообщество, состоящее из нескольких совместно работающих групп, каждая из которых оказывается довольно однородной по составу специалистов.

Сообщества описанных типов объединяются в проблемные сети — географически разединенные объединения, работающие над близкими проблемами и потому постоянно обменивающиеся данными, методиками, участниками и т. п. Численность сети обычно не превышает нескольких десятков человек, причем типична ситуация, когда один и тот же ученый считает себя членом нескольких сетей. Сети очень динамичны — средний период существования здесь не больше пяти лет. Уже созданы весьма точные наукометрические методы, позволяющие устанавливать границы сетей и следить за их изменениями⁷. Проблемные сети и составляющие их группы как бы концентрируют в себе «сильные» взаимодействия между учеными, возникающие непосредственно при решении конкретных задач, поэтому солидарность членов таких сообществ наиболее явно порождается их личными интересами. Научное Сообщество в данной перспективе предстает как динамический конгломерат перекрывающихся проблемных сетей.

Иная картина возникает в перспективе базисных ресурсов. Научное Сообщество распадается на устойчивые «единицы первого членения» — дисциплинарные сообщества. Солидарность их создается единством образования, усвоенного языка, единством в понимании общих методологических основ научной деятельности, ее целей, идеалов и возможностей. Дисциплина имеет свою квалификационную систему и свои институты профессиональной подготовки, собственные каналы формальных коммуникаций (например, «центральные» журналы типа «ЖЭТФ»

или «The Physical Review») и собственную элиту.

Предметные границы дисциплины, как правило, очень неопределенны; более того, вполне обычно явление «методологической агрессии» дисциплин, как бы стремящихся описать в своих понятиях и моделях все новые области опыта (в сфере естественнонаучных дисциплин в этом весьма преуспела физика, в сфере науки о культуре — лингвистика). Однако сами дисциплины распадаются на «единицы второго членения» — специальности; при этом происходит разделение и модификация общедисциплинарных ресурсов, фокусирующихся на определенной предметной области с относительно четкими границами (причем эта четкость зависит от того, насколько однозначно предмет специальности выявляется и описывается в языке соответствующей «материнской» дисциплины). Солидарность на уровне специальности создается ресурсами тех же типов, которые формируют и дисциплинарную солидарность, а в дополнение — обязательным набором теоретических моделей, рассматривающихся как «стандартные» описания ее предмета. Специальности зачастую расслаиваются на относительно устойчивые субспециальности. Пример такой иерархии: физика — физика твердого тела — физика сверхпроводимости.

Конечно, построенные схемы Научного Сообщества очень приблизительны и совершенно не отражают множества проблем, возникающих при попытках моделирования его структур. Так, например, они не учитывают национальных различий в организации научной деятельности, управлении наукой, идеологических и политических обоснований научной политики, специфики дисциплинарных особенностей и связанных с ними институциональных структур, и т. п. Но и эти схемы показывают, насколько непроста современная наука: в одной проекции она предстает как совокупность относительно стабильных, иерархически упорядоченных и хорошо отграниченных сообществ; в другой проекции мы наблюдаем сообщества аморфные, перекрывающиеся и короткоживущие. И надо думать, дальнейшие исследования раскроют еще большую сложность ее структуры.

⁷ Garfield E. et al. Citation data as science indicators. — In: *Toward a Metric of Science: The Advent of Science Indicators*. N. Y., 1978.

Крупнейшее местонахождение докембрийской фауны

М. А. Федонкин



Михаил Александрович Федонкин, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории палеонтологии докембрия Палеонтологического института АН СССР. Основные научные интересы связаны с исследованиями наиболее ранних этапов эволюции многоклеточных животных. Автор статей и монографий о бесскелетной фауне докембрия, следах жизнедеятельности и эволюции поведения древнейших бентосных животных.

Палеонтологи иногда делят историю формирования биосферы Земли на две части: криптозой (время скрытой жизни, древнее 570 млн лет) и фанерозой (время явной жизни, от 570 млн лет до наших дней). С рубежа в 570 млн лет начинается кембрийский период палеозойской эры, время, когда появилось множество организмов с минерализованными скелетными образованиями (раковины, панцири, спикулы и т. д.). Фоссилизированные (окаменевшие) остатки скелетной фауны в огромных количествах находят в нижнекембрийских породах. Если же опуститься чуть ниже в более древние докембрийские толщи, нам представится совершенно иная картина, во многих случаях поражающая своей «безжизненностью». Однако первое впечатление обманчиво.

Представления о жизни в докембрии за последние 25 лет претерпели настоящую революцию. Это было связано с тем, что, с одной стороны, для определения возраста горных пород стали использовать стабильные изотопы и, с другой — возник целый ряд биохимических и палеонтологических направлений в исследовании докембрия. Геология испытала острый дефицит знаний о жизни в докембрийскую эпоху,

которые были крайне необходимы, чтобы ориентироваться в громадном интервале времени от 3,5—4 млрд лет назад до начала кембрия. Не следует забывать, что фанерозой давно имеет детально разработанную биостратиграфическую шкалу, основанную на анализе необратимости эволюции органического мира.

Для докембрия до недавнего времени такой шкалы не было, и о жизни в докембрии судят по разнообразным микрофоссилиям (водоросли, грибы, бактерии и организмы неясного систематического положения), которые в изобилии встречаются в различных породах и особенно хорошо сохраняются в кремнях, будучи как бы заживо запечатанными кремневым гелем. Не меньшее значение имеют продукты жизнедеятельности этих организмов — толщи железистых и карбонатных пород. Последние нередко нацело сложены целиком так называемыми строматолитами — карбонатными постройками, образовавшимися в результате жизнедеятельности колоний низших растений, преимущественно синезеленых водорослей (цианофитов). Верхние горизонты докембрия, особенно его самый молодой комплекс горных пород — венд (по названию древнего славянского племени вендов или венедов), содержат многочисленные остатки многоклеточных водорослей, отпечатки и следы

жизнедеятельности многоклеточных животных. Вендский комплекс был выделен более 25 лет назад Б. С. Соколовым на примере Русской платформы, но аналоги венда известны практически по всему земному шару. В начале венда зафиксировано одно из крупнейших покровных оледенений в истории Земли, известное под названием лапландского. По ледниковым отложениям — тиллитам, накопившимся в течение этого оледенения, проводят основания венда как стратиграфической системы. На смену венду, как мы уже говорили, приходит кембрий с его многочисленной скелетной фауной.

Древнейшие многоклеточные животные, населявшие нашу планету около 600—650 млн лет назад, представляли собой уникальное явление в истории животного мира Земли. Самое поразительное для этой фауны то, что при значительном разнообразии все организмы этой эпохи не имели минеральных скелетных образований. Эта особенность древнейших беспозвоночных, казалось бы, должна была резко снизить их шансы на сохранность в ископаемом состоянии. Действительно, отпечатки докембрийской фауны пока встречаются не часто. Но нет худа без добра. Дело в том, что отсутствие скелета у всех докембрийских животных делало их равными «перед лицом истории», т. е. палеонтологи имели в руках немногочисленный, но практически полный набор ископаемых остатков, что позволило увидеть реальную картину животного мира очень далекого прошлого нашей планеты. Судя по тому, что ни на одном из экземпляров вендской фауны не видно повреждений или следов укусов, в то время не существовало организмов, питающихся крупными пищевыми частицами. Состав донной фауны (бентос) по численности и разнообразию был относительно беден и перерабатывал осадок в незначительной степени — об этом свидетельствуют ископаемые следы жизнедеятельности животных. Эти факторы способствовали тому, что даже такие организмы, как медузы, на 98% состоящие из воды, оставляли тончайшие ненарушенные отпечатки. Но этот «счастливый» период длился недолго. С появлением скелетной фауны фанерозоя общая ситуация резко изменилась.

Начиная с кембрия скелетные организмы навсегда обрели привилегию на место в палеонтологической летописи. Именно скелеты в широком смысле являются традиционными объектами изучения палеонтологии, но судить о животном мире

только по остаткам скелетной фауны — все равно, что судить о населении Древнего Египта по саркофагам фараонов. Несомненно, доля бесскелетной фауны (червей, медуз и пр.) в составе морских биоценозов во все времена, как и сейчас, была весьма существенной, а в некоторых биоценозах — преобладающей. Есть основания предполагать, что в нижнем палеозое, когда многие группы животного мира начали строить минерализованный скелет, количество таксонов бесскелетной фауны оставалось относительно высоким (возможно, более высоким, чем в докембрии!). Но фанерозой, видимо, обречен на хронологическую неполноту палеонтологической летописи. Главная причина этого явления заключается в том, что в это время широко распространились грунтоеды и другие бентосные животные, которые нарушали первичную структуру осадка и не позволяли сохраняться отпечаткам бесскелетных, а также поедали их трупы. Чтобы как-то компенсировать неполноту палеонтологической информации, которая в фанерозое (т. е. начиная с кембрия) приобретает качественный характер, а в докембрии имела скорее количественный, палеонтологи обратились к ископаемым следам животных (следы ползания и проедания осадка, норки и т. п.). Эта группа окаменелостей, как оказалось, имеет огромную познавательную ценность, особенно при изучении палеоэкологии, физиологии и поведения бентосных животных.

Еще недавно находки отпечатков докембрийской фауны считались большой редкостью, поэтому ей не придавали значения для сопоставления удаленных разрезов и тем более для расчленения докембрийских толщ (т. е. для периодизации геологической истории на вендском этапе). За бесскелетной фауной оставляли лишь право характеризовать «биологическое лицо» венда, что само по себе не так уж мало. В то же время было известно о знаменитом местонахождении докембрийской фауны в районе Эдиакары, Южная Австралия¹, о менее крупных, но не менее интересных местонахождениях в докембрии Подольского Приднестровья, Англии, юго-западной Африки, Ньюфаундленда. Отдельные находки вендской фауны были сделаны геологами при изучении обнаже-

¹ Сидоренко А. В. Усадочная геология в докембрии.— Природа, 1976, № 6, с. 3. Сидоренко С. А. Органическое вещество в докембрии.— Там же, с. 14.

ний и даже кернов глубоких скважин в Сибири и на Русской платформе. Тем не менее представление об уникальности находок вендской фауны остается довольно устойчивым.

В 1972 г. на Летнем берегу Белого моря близ д. Сюзьма было открыто небольшое местонахождение вендской фауны в естественных обнажениях валдайской серии². Здесь было обнаружено 14 родов и 16 видов древнейших многоклеточных животных и примерно столько же форм разнообразных ископаемых следов пере-



Карта-схема расположения основных местонахождений остатков бесскелетной фауны в докембрийских (вендских) отложениях юго-восточного Беломорья. 1 — район д. Сюзьма на Летнем берегу Белого моря, 2 — крупнейшее местонахождение на Зимнем берегу Белого моря.

движения и питания, оставленных на дне вендского моря бентосными животными. Эти данные существенно дополнили наши знания о составе животного мира венда, об экологии и распространении докембрийских бесскелетных.

Небольшая мощность и протяженность обнажений валдайской серии на Летнем берегу не позволяли проводить там широких исследований, но именно здесь был накоплен первый опыт поиска этой удивительной фауны. Изучение обнажений по берегам тихой, не по-северному уютной р. Сюзьмы каждый год приносило все новые находки. Перед исследователями вдруг раскрылся богатый, своеобразный, во многом непонятный и неожиданный мир. Местонахождение на Сюзьме было словно глазок, который удалось протаять в морозной шубе на оконном стекле: по-

нимаешь, что за окном идет жизнь, но жаль, плохо видно. Встала задача поиска новых местонахождений.

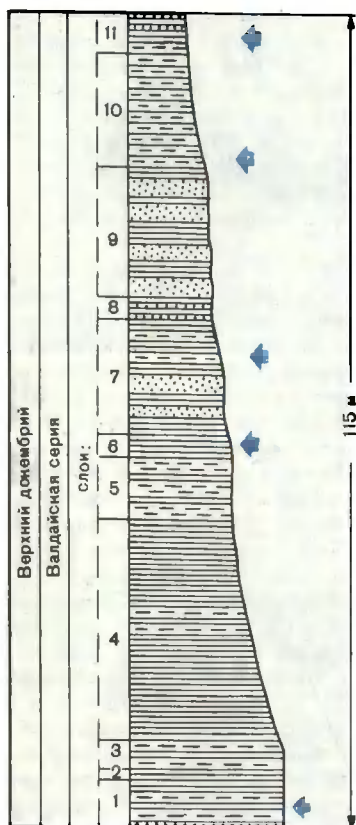
Уже давно привлекал к себе Зимний берег Белого моря, где по морскому побережью обнажались гораздо более мощные толщи предположительно вендского возраста. Правда, геологи, изучавшие разрезы Зимнего берега, по-разному оценивали возраст этих толщ (от нижнекембрийского до вендского). Целенаправленные поиски фауны там почти не проводились.

В июне 1977 г. наш небольшой отряд прибыл теплоходом из Архангельска в Нижнюю Золотицу — старую поморскую деревню, коренное население которой занято в летнее время отловом семги, а с началом весны — промыслом морского зверя. Там, в окрестностях Зимнегорского маяка, угнездившегося на самом краю головокругительного обрыва, и были сосредоточены поиски древнейших организмов. Обрывы, достигающие местами стометровой высоты, называют Зимними горами.

Первые отпечатки обнаружили в осыпи. После изучения последовательности слоев были найдены пласты, откуда происходят эти окаменелости. В 1977 г. за месяц работы было собрано более 200 экземпляров бесскелетной фауны в основном с двух уровней в самом низу и самом веру разреза. В течение полутора месяцев работы на том же разрезе в 1978 г. было собрано уже более 1 тыс. экземпляров, причем число уровней с фауной увеличилось до семи. Эти исследования показали, что впервые в пределах СССР появилась возможность получать массовый и разнообразный материал по древнейшим Metazoa³. До последнего времени ведущая роль в изучении этой фауны принадлежала австрийским палеонтологам, где за 30 лет, начиная с работ первооткрывателя знаменитого местонахождения в Эдикаре Р. Спригга, было найдено около 1,5 тыс. экземпляров докембрийских животных. С открытием крупнейшего местонахождения фауны на Зимнем берегу Белого моря европейский север СССР выходит на одно из первых мест в мире по обилию и разнообразию окаменелостей. Не менее важно, что большинство отпечатков великолепно сохранилось. Такая сохранность позволяет изучать достаточно тонкие детали строения докембрийских организмов.





² Келлер Б. М. Новая находка древнейших животных. — Природа, 1975, № 7, с. 85.

³ Природа, 1981, № 2, с. 115.



Разрез валдайской серии вендских отложений на Зимнем берегу Белого моря.

Обнажения венда на Зимнем берегу Белого моря.

-  песчаники
-  алевролиты
-  глины
-  слои, наиболее богатые окаменелостями

Но наиболее интересным и значительным обстоятельством является изменение таксономического состава ассоциаций фауны при движении от основания разреза к его верхней части, чего не отмечалось пока ни в одном из местонахождений Земли. Причина этого явления кроется прежде всего в изменении условий обитания и посмертного захоронения животных.

Тонко переслаивающиеся алевролиты и глины нижней части разреза накапливались в нормально морских условиях с относительно спокойным гидродинамическим режимом среды на глубине ниже

уровня воздействия волн. Об этом свидетельствуют состав отложений (преобладание глин), ненарушенная слоистость и характер переслаивания глин с алевролитами. Здесь же встречаются следы бентосных животных, которые обычно характерны для участков дна, где вода малоподвижна, а тонкий ил богат органическим детритом.

Отложения верхней части разреза накапливались в относительно мелководных условиях (сублитораль и, возможно, литораль), отличавшихся высокой подвижностью воды. Об этом можно судить по тому, что вверх по разрезу резко возрастает доля песчаников, для которых характерна неправильная, часто косая слоистость, следы потоков и размыва, а разнообразные знаки ряби так похожи на те, что всюду видны внизу на пляже, особенно во время отлива. Море выбрасывает на берег сотни медуз, и когда вода уходит, на песке остаются их прозрачные желеобразные зонтики. Многих из них смывает обратно в море, иные высыхают, оставляя на песке

чуть заметные серебристые кружочки, других засыпает песком или затягивает илом. Вероятно, так было и тогда — 600 млн лет назад. В песчаниках верхней части разреза найдены многочисленные ископаемые следы, в том числе тонкие и прямые норки бентосных животных, ориентированные почти вертикально. Такая ориентировка норок характерна для организмов, населяющих литораль, т. е. зону высокой подвижности воды и резко изменчивых условий.

Таким образом, различие условий осадконакопления (а значит экологии бесскелетных и условий их захоронения) для нижней и верхней частей разреза несомненно. Однако в целом все наблюдаемые различия в составе фаунистических ассоциаций вряд ли можно свести только к этой причине. Если мы сравним лишь пелагические формы, менее зависимые от придонных условий среды и способные после гибели переноситься на значительные расстояния, то увидим, что уровень организации и таксономическое разнообразие фауны вверх по разрезу возрастают. Этого следовало ожидать, поскольку мощная толща достаточно тонких осадков в условиях платформы могла накопиться за большой интервал времени, в течение которого неизбежно должны были произойти и какие-то эволюционные события в животном мире. Уже после исследований 1977 г. стало ясно, что ассоциация фауны из первого слоя состоит в основном из кишечнополостных: это колониальные и одиночные полипы, просто устроенные медузы, а также представители новых, неизвестных нам групп. Значительно реже встречаются здесь плоские черви с сегментированным телом (*Dickinsonia*) и следы ползания бентосных животных, напоминающие следы аннелид и моллюсков. В верхней части разреза появляются более сложно устроенные медузы и другие кишечнополостные, разнообразные плоские черви, а также формы, напоминающие мелких палеозойских членистоногих, близких к трилобитам. Но отражают ли эти различия некие эволюционные события?

Следует отметить, что до сих пор ни в одном местонахождении не отмечалось эволюционных изменений докембрийской фауны, несмотря на значительный подчас стратиграфический интервал ее распространения. Один из наиболее авторитетных исследователей эдиакарской фауны австралиец М. Глесснер полагает, что бесскелетная фауна венда представляет собой единое целое — определенный

этап в эволюции многоклеточных животных, и поэтому, несмотря на значительный диапазон существования во времени, эта фауна «нестратиграфична». Однако вряд ли можно считать нормальным отсутствие эволюционного развития в различных филумах беспозвоночных на протяжении 40—50 млн лет. Косвенные данные свидетельствуют скорее о противоположном.

Сравнительный анализ биот древнейших Metazoa, известных на Земле, показал, что некоторые из них существенно отличаются друг от друга по составу и уровню организации фауны. Так, например, богатейшая Авалонская биота (около 20 видов), из серии Консепшен, о-во Ньюфаундленд, представлена лишь кишечнополостными. Значительно более высокий уровень организации фауны отличает Эдиакарскую биоту Южной Австралии и Беломорскую биоту венда, каждая из которых представлена по меньшей мере пятью типами беспозвоночных. Сравнение этих и других биот не исключает возможности рассматривать некоторые примитивные биоты как более древние относительно биот высокой организации. Однако доказать эту разновозрастность сравнительным методом невозможно, поскольку мы не располагаем пока достаточно точным инструментом для корреляции позднедокембрийских отложений. Наиболее надежным методом корреляции удаленных друг от друга разрезов остается палеонтологический метод, основанный на данных об эволюции различных групп органического мира. Для бесскелетной фауны докембрия таких данных пока нет.

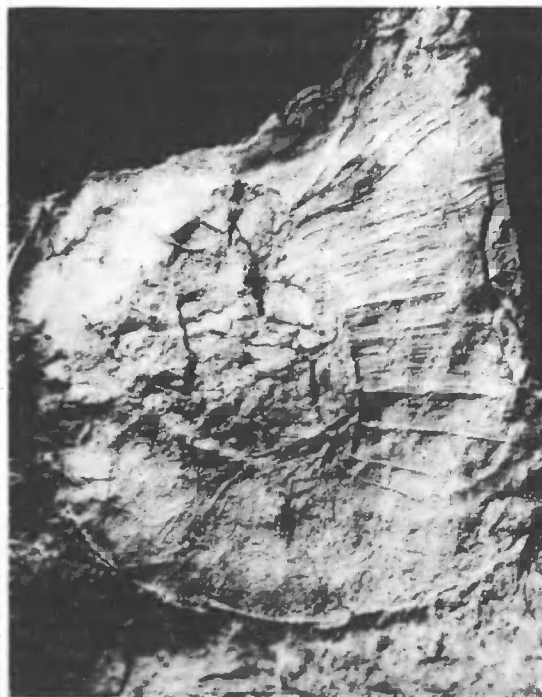
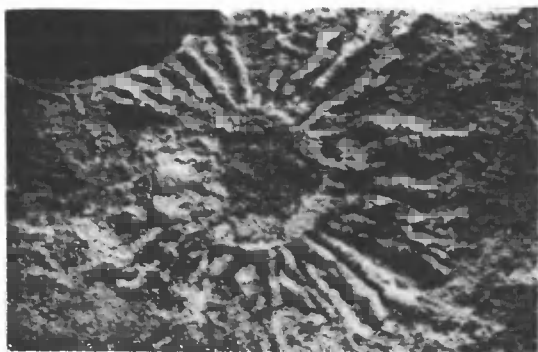
Несмотря на то что основную часть работы еще предстоит выполнить, уже сейчас можно подметить весьма интересные особенности животного мира венда

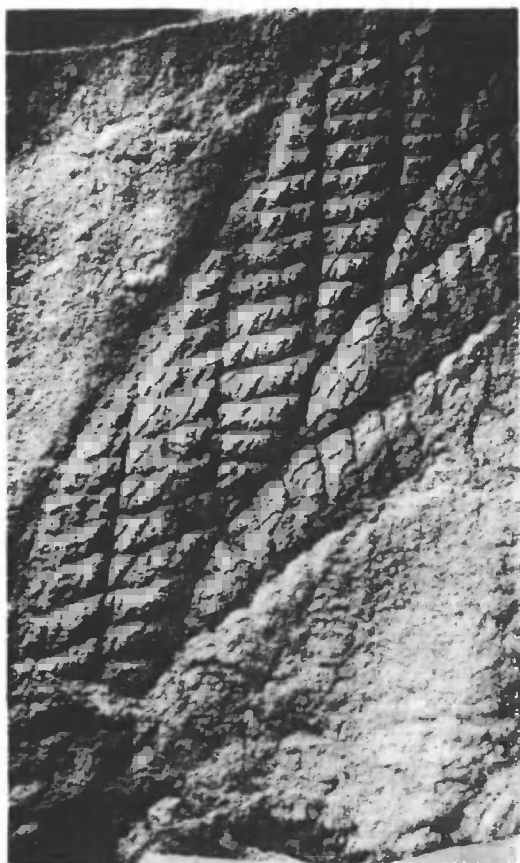
Некоторые медузовидные кишечнополостные, найденные в вендских отложениях на Зимнем берегу. Слева сверху вниз:

пинегия [*Pinegia stellaris* Fedonkin], возможно, относится к гидрондидным полипам; мелкие медузы (новый вид) с трехлучевой симметрией, которая не характерна для ныне живущих кишечнополостных; оватоскутум [*Ovatoscutum concentricum* Glaessner] весьма напоминает пневматофор современных веллел или парусников; цикломедуза [*Cyclomedusa* Sprigg] — предположительно, гидрондидная медуза.

Справа:

эопорпита [*Eoporpita medusa* Wade] — представитель отряда хондрофор; протодиплевросома [*Protodipleurosoma rugulosum* Fedonkin] — организм неясной систематической принадлежности.





Чарния [*Charnia masoni* Ford] — перистовидные колонии полипов неясной систематической принадлежности.

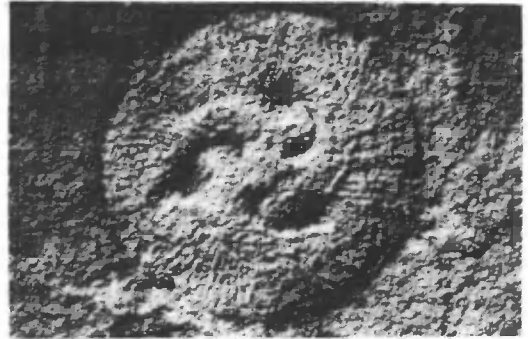
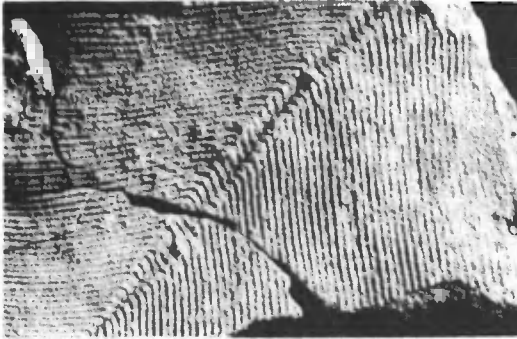
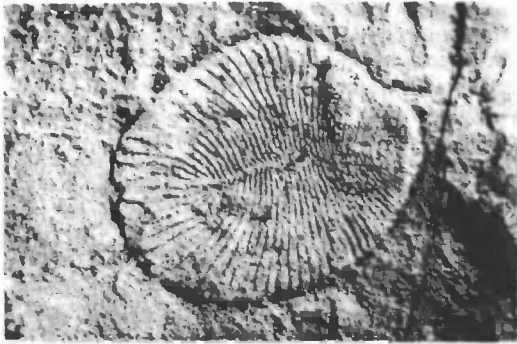


Крупный одиночный полип [новый род] с хорошо сохранившимся прикрепительным диском.

на севере Русской платформы. Беломорская биота вендского времени была представлена сообществом свободно и активно плавающих, а также донных организмов, размеры которых варьируют от немногих миллиметров до 30 см и более. Среди них имеются представители по меньшей мере пяти типов царства животных: кишечнополостные, плоские черви, аннелиды, членистоногие и, возможно, иглокожие, хотя во многих случаях мы скорее угадываем определенную связь вендских беспозвоночных с теми или иными типами, опираясь на внешнее сходство.

Подавляющее большинство многоклеточных животных вендского моря на Русской платформе представлено кишечнополостными, составляющими около 70% описанных к настоящему времени видов. Около 17—20% приходится на долю плоских червей, значительно меньшую часть составляют аннелиды, членистоногие и, возможно, иглокожие и другие организмы неясного систематического положения. Интересно, что в ряду от кишечнополостных до членистоногих по мере усложнения организации животных существенно уменьшаются их видовое разнообразие, численность и даже размеры тела. Это любопытнейшее явление заслуживает особого внимания, так как, по-видимому, отражает историю становления и развития основных типов беспозвоночных, из которых кишечнополостные, вероятно, самые древние среди высших многоклеточных.

Вторая особенность вендской фауны — наличие таких форм, в морфологии которых можно усмотреть набор признаков, обычно характерных для разных классов или даже типов. Так, у некоторых плоских червей (род *Dickinsonia*) появляется сегментация (метамерия) в строении тела или покровов, свойственное скорее кольчатым червям (аннелидам). Интересно, что наиболее юные особи диккинсоний (*D. costata*) имеют почти идеальную круглую форму, а в расположении метамеров явно видны реликты радиально-лучевой симметрии. Все это может указывать на определенную связь этих плоских червей с *Radialia*. Другой пример необычной комбинации признаков показывают нам вендские аннелиды семейства *Sprigginidae*. Их тело очень напоминает современных многощетинковых кольцецов, но крупная подковообразная голова сближает их с членистоногими. Подобные формы с «двойственным» набором признаков, возможно, были предка-



Дикинсонии — своеобразные организмы, стоящие по уровню организации между турбелляриями и аннелидами: дикинсония костата [*Dickinsonia costata* Sprigg] и фрагмент крупной дикинсонии.

Трибрахиидумы — загадочные организмы неясной систематической принадлежности, возможно, являющийся отдаленным предком иглокожих.

ми, исходными формами для типов, которые в ходе эволюции широко разошлись.

Изучение докембрийской фауны позволяет предположить, что в венде, по-видимому, закладывался общий план строения филумов. В этой ситуации форма как бы опережала содержание, которое менялось во времени (в общем случае — в сторону усложнения), а форма в итоге оказывалась более консервативной. Может быть, потому и существуют сотни примеров конвергенции, что форма ограничена пространством логических возможностей. Вполне возможно, что вендские организмы, внешне похожие на членистоногих, например, по организации могли стоять где-то на уровне плоских червей. Несколько раз изображавшаяся на страницах научных изданий знаменитая вендия⁴, которую обычно сравнивают с членистоногими и нередко называют «голым»

(т. е. лишенным панциря) трилобитом, имеет нерасчлененное тело, а метамеры расположены не супротивно, как у членистоногих, а чередуясь, что напоминает скорее ветви кишечника низших червей.

Третья особенность — присутствие среди докембрийских многоклеточных форм, напоминающих личинок современных беспозвоночных, но значительно более крупных размеров. К ним можно отнести *Onega stepanovi*, напоминающую личинку онихофор, *Vendomia menneri*, похожую на личинку трилобита, *Tribrachidium heraldicum*, который по характеру строения «рук» напоминает вымерший класс иглокожих *Edrioasteroidea* (*Pelmatozoa*), отличаясь от иглокожих вообще своей трехлучевой симметрией. Однако недавние работы палеонтолога Б. Белла по онтогенезу эдриоастероидей показали, что на ранних стадиях развития эти организмы имеют трехлучевую симметрию.

Французские исследователи Х. Термье и Ж. Термье предложили называть «нимфоидами» всех *Metazoa*, взрос-

⁴ Келлер Б. М. Загадки верхнего докембрия. — Природа, 1979, № 1, с. 66.

лая форма которых не переходит за пределы стадии, известной при других обстоятельствах как личиночная. Одним из признаков личиночных беспозвоночных является полное или почти полное отсутствие минерализованного скелета. По мнению Х. Термье и Ж. Термье, эдиакарская фауна была богата нимфоидами, т. е. взрослыми организмами с формой, близкой по типу к личинкам известных нам более поздних Metazoa. Дивергенция филумов, которые сейчас обособлены очень отчетливо, происходила в венде путем мелких мутаций у нимфоидов.

Не вдаваясь в суть этой гипотезы, укажем лишь, что сходство личинок современных, или фанерозойских, беспозвоночных с организмами, жившими на Земле более 600 млн лет назад, можно рассматривать как рекапитуляцию — повторение в индивидуальном развитии организмов признаков взрослых предков — явление достаточно тривиальное. Но вполне возможно, что именно в аспекте рекапитуляции было бы плодотворным изучать вопросы систематического положения бесскелетной фауны венда.

Еще одна примечательная особенность Беломорской биоты венда — существование более десятка видов, общих с Эдиакарской биотой докембрия Южной Австралии. Отмечается некоторое сходство и на родовом уровне. Степень сходства Беломорской и Эдиакарской биот венда поразительна и заслуживает особого внимания: либо эти формы крайне медленно эволюционировали и рассеялись по Земле, оставаясь неизменными, либо Южная Австралия и Архангельская область находились в одной фаунистической провинции.

Открытие и изучение вендской фауны опровергло до сих пор бытующее представление о «популяционном взрыве» в начале кембрия, которое отчасти справедливо лишь для скелетной фауны. Идея «взрыва» была вызвана прежде всего контрастом между изобилующими окаменелостями кембрийскими отложениями и «немыми» или бедными окаменелостями докембрийскими толщами, что, скорее, объясняется несравнимо большей способностью скелетных организмов сохраняться в ископаемом состоянии. Можно считать доказанным, что в докембрии произошла глубокая дивергенция многоклеточных на уровне фактически всех главнейших типов. Однако установить преемственность между фауной докембрия и кембрия пока не уда-

ется. Для разнообразных скелетных форм нижнего кембрия мы не можем указать предков среди вендских бесскелетных. Эту преемственность скорее можно будет проследить при сравнении бесскелетных венда с бесскелетными кембрия.

Значение открытых на севере Русской платформы местонахождений вендской фауны можно будет оценить в полной мере лишь позже. Но уже сейчас ясно, что бесскелетная фауна эдиакарского типа отнюдь не уникальна, она распространена шире, чем это представлялось до недавних пор.

По предварительным оценкам, в венде юго-восточного Белого моря обнаружено не менее 70 видов бесскелетных многоклеточных животных, причем три четверти этого количества приходится на Зимнегорское местонахождение. Из вендских отложений Зимнего берега к настоящему времени описано 20 родов и 25 видов беспозвоночных, из которых 8 родов и 9 видов являются новыми, неизвестными прежде палеонтологам. Открытие северных местонахождений — лишь начало. Впереди описание многочисленных новых форм, выяснение распределения фауны в общем разрезе венда (на Зимнем берегу обнажена часть вендских отложений), поиски новых разрезов, охарактеризованных фауной, в различных регионах, особенно на Сибирской платформе, где широко представлены и древнейшие отложения кембрия. Предстоит и большая палеобиологическая работа: изучение вопросов онтогенеза и филогении, систематического положения и палеоэкологии вендских беспозвоночных, сравнение бесскелетных венда и кембрия и т. д. Открываются широкие возможности изучения наиболее ранних этапов эволюции многоклеточных животных, что имеет большое биологическое значение. С другой стороны, широкое распространение остатков вендской фауны позволяет надеяться, что эти исследования станут основой создания биохронологической шкалы венда.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Соколов Б. С. METAZOA ДОКЕМБРИЯ И ВЕНДО-КЕМБРИЙСКИЙ РУБЕЖ.— Палеонтологический журнал, 1976, № 1.

Федонкин М. А. БЕЛОМОРСКАЯ БИОТА ВЕНДА. М.: Наука, 1981.

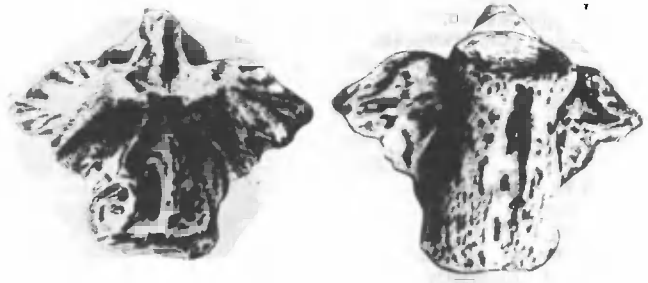
Морские крокодилы в мезозое Поволжья

В. Г. Очев,
доктор геолого-минералогических наук
Саратовский государственный университет

Жизнь современных крокодилов связана с пресными водоемами жарких стран. Сейчас насчитывается немногим более двух десятков видов в этой сохранившейся со времен мезозоя группе. А начиная с позднего триаса крокодилы, наряду с динозаврами, заселяли практически весь земной шар. В юре и раннем мелу они проникали из пресных вод в моря.

Ископаемые морские мезозойские крокодилы семейства Teleosauridae и Metriorhynchidae обнаружены в Западной Европе, а также в Китае, на Мадагаскаре и в Южной Америке. В нашей стране единственный морской крокодил рода Stehsaurus был найден в среднеюрских отложениях Дагестана. Других находок на территории нашей страны до недавнего времени не было известно, хотя остатки морских рептилий распространены достаточно широко, особенно в Поволжье. Здесь по берегам рек и на островах есть места, где на пляжах и отмелях встречаются скопления костей вымерших животных. На Волге — это чаще всего остатки млекопитающих, вымытые из среднечетвертичных отложений. Иногда попадают кости, принесенные из более древних мезозойских пород, например кости птеродактилей. Подобные захоронения постепенно беднеют, а иные из них и совсем исчезают. Так, было разрушено захоронение на о-ве Хорошевском близ г. Хвалынска, затопленном в результате сооружения Балаковской ГЭС.

Старый волжский город Хвалы́нск — место, интересное не только в историческом, но и в геологическом отношении. Даже художник К. С. Петров-Вод-



Заднетуловищный позвонок морского крокодила с о-ва Хорошевского на Волге [слева — вид сверху, справа — вид снизу]. Хвалынский краеведческий музей.

кин в своих воспоминаниях об этом городе не обошел встречающихся в «меловых залежах гор» кораллов, звезд и «трубчатых морских образований». Ниже Хвалынска перед селом Алексеевка и располагался о-в Хорошевский, от которого теперь при низкой воде видны лишь верхушки деревьев.

В разные годы на нем найдена масса костей обитателей ледникового периода: мамонтов, шерстистых носорогов, пещерных медведей и львов, бизона, быков и даже часть черепа неандертальца. Почти все эти материалы собраны в 30-е годы сотрудниками хвалынского Краеведческого музея ботаником О. К. Гроссом и археологом В. Н. Ореховым. Места их палеонтологических находок можно видеть на макете острова, хранящемся в отделе природы музея. Среди множества остатков млекопитающих им удалось опознать несколько костей пресмыкающихся из юрских или меловых морских отложений Поволжья. Под названием «мезозойские морские рептилии» они много лет были выставлены в музее, и никто не пытался изучить их более тщательно.

Ознакомившись с материалом, мы пришли к выводу, что, кроме двух позвонков ихтиозавров и фрагмента неба пле-

зиозавра, здесь имеются две кости довольно крупных морских, видимо, юрских крокодилов, подобных Dakosaurus. Это заднетуловищный позвонок с разрушенной невральнoй дугой, но сохранившимися диапофизами (длина — 110 мм, высота — 40) и характерное широкое пятое метатарзале — кость плюсны (длина — 110 мм, ширина у проксимального конца — 50 мм, у дистального — 32 мм).

Несколько выше Хвалынска в береговых обрывах Волги есть обнажения нижнего мела, из которых могли быть вымыты окаменелости. Однако вместе с костями были собраны обломки верхнеюрских аммонитов. Все они, очевидно, принесены течением из-под Сызрани, где в правом берегу Волги обнажаются юрские отложения. Занесенные оттуда кости встречаются, например, у г. Вольска, где в местном музее хранятся нерасчлененные позвонки ихтиозавров.

Палеонтологические находки с о-ва Хорошевского пока единственное свидетельство в пользу распространения крокодилов в мезозойских морях Поволжья. В первичном залегании они до сих пор не обнаружены, видимо, из-за значительной их редкости. Среди ящеров мезозоя доминировали ихтиозавры и плезиозавры. Разрозненные их позвонки — самые обычные находки в мезозое Поволжья.

Будем надеяться, что дальнейшие исследования приведут к новым находкам остатков пока мало известных у нас мезозойских морских крокодилов.

Путорак

А. И. Колоденко,

кандидат биологических наук
Институт пустынь Академии наук
Туркменской ССР.
Ашхабад

Пегий путорак (*Diplo-mesodon pulchellum*), насекомоядное млекопитающее, описан еще в 1823 г., но до сих пор мы о нем знаем очень мало. Этот эндемичный вид пустынь Каракумов и Кизылкумов внесен в «Красную Книгу СССР». В других пустынях мира его нет.

Удивительна его расцветка. Низ — чисто белый, резко переходит на боках в серый цвет, а белое пятно на спине делает путорака на песке очень заметным. И путорак ведет только ночной образ жизни, когда его броская днем окраска становится незаметной для хищников. Защищает путорака и сильный неприятный запах. Мы несколько раз находили путорака, добытого сычом, но не съеденного.

О приспособленности путорака к обитанию в песках свидетельствуют лапки, покрытые по краям щетинками, они держат зверька, как лыжи. Путорак плохо переносит и дневную жару и ночной холод и поэтому на поверхности земли появляется только ночью. В спячку он не впадает. Норы свои, как правило, возвращаясь с поверхности, закапывает изнутри. Поселяется чаще в прикустовых буграх, где обычно скапливаются на зимовку различные беспозвоночные и позвоночные. В неблагоприятные дни путорак отыскивает пищу в лабиринте нор, местами прокладывая новые ходы, которые роет он превосходно.

Численность пегого путорака в различных частях ареала неодинакова и подвержена



Путорак.

Фото автора.

сезонным и годовым колебаниям. За последние 15 лет наибольшая среднегодовая численность отмечена нами в 1967 г.

Давно установлено, что на численность видов животных, обитающих в Средней Азии, существенно влияет холодная зима и весенние ливневые дожди.

Пегий путорак среди землероек Туркмении, пожалуй, самый крупный и прожорливый вид. При весе в 8 г он за сутки съедает от 12 до 30 г. О повадках путорака красноречиво свидетельствует такой пример. В Мешедских песках нам в ловушку попал путорак еще с вечера. Утром мы бросили ему умерщвленную ящерицу. Он с жадностью набросился на нее. Когда ящерицу подняли за хвост, он висел на ней и продолжал грызть ее, а когда

сорвался, стал прыгать, чтобы снова схватить ящерицу. Наблюдая в неволе за поведением путораков, мы убедились, что в природе пищей им часто служат ящерицы, так как способы умерщвления им ящериц настолько точны и успешны, что через несколько укусов жертвы в области горла он ее полностью парализует. Путорак успешно справлялся и с домашней мышью, весом 18—25 г, но основу питания путорака все же составляют беспозвоночные пустыни (скорпионы, пауки, гусеницы, мелкие чернотелки, жулики, мокрицы и другие насекомые). Путорак — самый малоподвижный представитель среди землероек. Если малая белозубка, попадая в ловушку, пытается подняться по стенке и это ей изредка удаётся, то пегий путорак только пытается закопаться.

Космические исследования

Запуски космических аппаратов в СССР (январь — февраль 1981 г.)

В январе — феврале 1981 г. в Советском Союзе было запущено 15 космических аппаратов, в том числе 11 спутников серии «Космос» с научной аппаратурой, предназначенной для продолжения исследований космического пространства.

Грузовой транспортный корабль «Прогресс-12» доставил на орбитальную научную станцию «Салют-6», которая более трех лет находится в космическом полете, топливо для объединенной двигательной установки и другие материалы, необходимые для дальнейшего функционирования станции. 28 января 1981 г. в 20 час по московскому времени с помощью двигательной установки транспортного корабля «Прогресс-12» была проведена коррекция орбиты комплекса.

Очередные спутники связи серий «Молния-1» и «Молния-3» предназначены для обеспечения эксплуатации системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи, а также передачи программ Центрального телевидения СССР на пункты сети «Орбита», а также в рамках международного сотрудничества.

Цель запуска спутника «Интеркосмос-21» — отработка методов комплексного изучения Мирового океана и поверхности Земли, а также систем автоматического сбора научной информации с морских и наземных экспериментальных станций. На борту спутника установлена научная аппаратура и телеметрическая система сбора и передачи научной информации, созданные специалистами ВНР, ГДР, СРР, СССР и ЧССР,

Параметры начальной орбиты

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			период обращения, мин
		перигей, км	апогей, км	наклонение, град	
«Космос-1237»	6.1	207	410	72,9	90,4
«Молния-3»	9.1	485	40784	62,5	736
«Космос-1238»	16.1	411	1976	83	109,1
«Космос-1239»	16.1	222	265	82,3	89
«Космос-1240»	20.1	178	377	64,9	89,8
«Космос-1241»	21.1	1000	1000	65,8	105
«Прогресс-12»	24.1	188	299	51,6	89,1
«Космос-1242»	27.1	635	684	81,2	97,6
«Молния-1»	30.1	464	40801	62,8	736
«Космос-1243»	2.11	316	1026	66	98
«Интеркосмос-21»	6.11	475	520	74	94,5
«Космос-1244»	12.11	975	1024	82,9	105
«Космос-1245»	13.11	208	403	72,9	90,3
«Космос-1246»	18.11	202	292	64,9	89,2
«Космос-1247»	19.11	613	39540	62,8	709

Космические исследования

Обнаружены новые спутники Юпитера

Тщательное изучение нескольких сот снимков пространства около Юпитера, полученных автоматическими станциями «Вояджер-1 и -2», позволило С. Синнотту (Лаборатория реактивного движения Калифорнийского технологического института, США) открыть три неизвестных ранее небольших спутника этой планеты: в октябре 1979 г. он обнаружил 14-й¹, а в марте и июле 1980 г. — 15-й и 16-й спутники.

Два из них — 14-й и 16-й, получившие предварительное обозначение 1979 J1 и 1979 J3, имеют весьма сходные размеры и орбиты, поэтому первоначально были приняты за один и тот же объект; но затем выяснилось, что это два различных спутника, которые движутся по близким орбитам,

располагаясь по разные стороны планеты. Диаметр 14-го спутника ~25 км, а период его обращения по орбите вокруг Юпитера 7 ч 9 мин. Диаметр 16-го спутника ~40 км, он совершает один оборот по орбите за 7 ч 4 мин 30 с. Оба спутника находятся в непосредственной близости от внешнего края кольца Юпитера². Их гравитационное воздействие на частицы, составляющие кольцо, определяет четкость его внешней границы. Внутренняя сторона кольца, не подвергаясь такому воздействию, имеет более расплывчатую границу.

15-й спутник, обозначаемый 1979 J2, более удален от планеты: его орбитальный период составляет 16 ч 11 мин 21 с. Он расположен между орбитами Амальтеи и Ио.

«EOS Transactions of American Geophysical Union», 1980, v. 61, № 39, p. 643 (США); «Circular of Central Bureau of Astronomical Telegrams of IAU», 1980, № 3503 (Нидерланды).

¹ Об открытии 14-го спутника см.: Природа, 1980, № 3, с. 107.

² О кольце Юпитера см.: Природа, 1980, № 6, с. 128.

Астрономия

Тектитовое кольцо
вокруг Земли!

Согласно палеоботаническим данным, примерно 34 млн лет назад, в конце эоценовой эпохи зимние температуры на Земле понизились на 20° , тогда как температуры летнего периода остались неизменными. В это же время произошло резкое вымирание пяти видов радиолярий¹, составлявших 65% всей популяции этих микроорганизмов. Оба события совпадают по времени с образованием на Земле крупнейшего поля тектитов — Североамериканского, протянувшегося от Карибского моря через центральную часть Тихого океана до Индийского океана. Считается, что тектиты — стеклянные природные тела размером до нескольких сантиметров — попали на Землю из космоса, причем при пролете через атмосферу они оплавились и приобрели характерную округлую форму.

По мнению Дж. О' Кифа (Годдардовский центр космических полетов, США), все три упомянутые события — звенья одной цепи. Он считает, что большая часть тектитов из потока, образовавшего Североамериканское поле, не упала на Землю, а осталась на орбите вокруг нее. Из роя частиц с беспорядочными орбитами довольно быстро должно было образоваться тонкое кольцо, расположенное в экваториальной плоскости Земли. Экранирование части солнечного света этим кольцом должно было привести к некоторому охлаждению земной поверхности. Расположение кольца в плоскости экватора в сочетании с наклоном земной оси на $23,5^\circ$ к той же плоскости создавало бы тень на зимнем полушарии. По мере смены времен года ширина тени должна была меняться, достигая наименьших размеров при



Тень от предполагаемого тектитового кольца меняла свою ширину и положение на поверхности Земли в зависимости от времени года. Наиболее широкую полосу она занимала зимой, приводя к значительному охлаждению поверхности Земли и ее атмосферы.

весеннем и осеннем равноденствиях. С конца сентября по конец марта тень падала на Северное полушарие, а в другую половину года — на Южное полушарие.

По расчетам О' Кифа, для понижения зимней температуры на 20° достаточно, чтобы $1/3$ площади кольца была занята стеклянными частицами, пропускающими лишь $1/4$ падающего на них света. Общая масса тектитов в кольце при этом должна быть ~ 25 млрд т (масса стеклянных частиц в Североамериканском поле тектитов оценивается в 1—10 млрд т). Похолодание должно было привести к гибели радиолярий, для которых благоприятны тепловодные условия обитания. Подобное кольцо могло просуществовать несколько миллионов лет, а затем постепенно исчезнуть под действием ряда разрушавших его факторов. В их числе — торможение внутреннего края кольца верхними слоями атмосферы и постепенное выпадение частиц на Землю, разрушение материала кольца ударами микро-

метеоритов, вынос наиболее мелких частиц за пределы кольца солнечным ветром и т. д. Nature, 1980, v. 285, № 5763, p. 309—311 (Великобритания).

Физика

Образование быстрых частиц в реакциях с тяжелыми ионами

Исключительное многообразие ядерных реакций, протекающих при взаимодействии тяжелых ионов с ядрами, позволяет не только эффективно синтезировать и изучать ядра с большим избытком или недостатком нейтронов, увеличивать скачком заряд ядра на 10—30 единиц, но и исследовать ядра в необычных состояниях, резко отличающихся от основных по величине деформации или плотности ядерной материи, энергии возбуждения или угловому моменту. По существу, в реакциях ядер с тяжелыми ионами во взаимодействии участвуют две сложные ядерные системы, поэтому возникают особенности, отсутствующие при столкновении ядер с легкими частицами.

Обычно реакции разделяют на три класса: упругое взаимодействие, прямые процессы и полное слияние ядер. В случае тяжелых ионов прямые процессы (срыв дейтрона или передача одного-двух нуклонов от иона к ядру) протекают при касательном столкновении и характеризуются тем, что энергии легких продуктов реакции близка к энергии налетающего иона, а угол, под которым они вылетают, соответствует направлению движения тяжелого иона при периферийном касательном столкновении с ядром-мишенью. Результирующий тяжелый продукт остается в практически невозбужденном состоянии с угловым моментом, близким к нулю, т. е. не вращается.

В Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ в 1975 г. был открыт новый механизм ядерных реакций — глубоконеупругие реакции — соединяющий в себе характерные черты прямых процессов и распада возбужденного составного ядра. В таких столк-

¹ Радиолярии — морские планктонные организмы размером от 40 мкм до 1 мм и более и со скелетом из кремнезема. Обитают преимущественно в теплых водах.

новениях вся или подавляющая часть кинетической энергии столкновения переходит в возбуждение тяжелого продукта реакции, образующегося в результате передачи большого комплекса нуклонов от иона ядру-мишени, а энергия легких продуктов составляет 50—70% от энергии, приходящейся на один нуклон налетающего иона. В таких реакциях остаточное тяжелое ядро имеет большую энергию возбуждения (~50—100 МэВ) и быстро вращается (угловой момент ~ 50 ÷ 100 ħ).

Недавние эксперименты, проведенные в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ под руководством Ю. Ц. Оганесяна и Ю. Э. Пеннионжкевича, показали, что при столкновении тяжелых ионов с ядрами проявляется еще один очень своеобразный механизм взаимодействия, в котором основная часть нуклонов, составляющих ион, поглощается ядром-мишенью и наблюдается вылет α -частиц высоких энергий, причем основная их часть вылетает вперед по направлению пучка тяжелых ионов. Измерение максимальной энергии этих α -частиц показало, что после их вылета образуются «бешенно вращающиеся холодные» ядра. Так, при облучении мишени из ^{197}Au ускоренными ионами ^{22}Ne с энергией ~ 180 МэВ (т. е. ~ 8,4 МэВ/нуклон), зарегистрированы α -частицы с энергией ~ 120 МэВ (т. е. ~ 30 МэВ/нуклон), а энергия возбуждения образовавшегося ядра ^{215}Fr составляет ~ 10 ÷ 20 МэВ.

Ни вероятность испускания таких α -частиц, ни их энергетический спектр не описываются в рамках существующих теоретических моделей, таких как статистическая модель, использующая понятие температуры (испарительная, предравновесная или модель «горячего источника»), поскольку требуется не только перевести всю энергию и большую часть импульса налетающего иона в тепловое движение нуклонов составного ядра, но и передать их снова легкой частице. Не объясняет эти данные и модель глубоко неупругих реакций передач. По своей специфике реакция скорее похожа на прямое взаимодействие (близость начальной энергии иона к энергии

образовавшейся α -частицы, т. е. передача почти всей энергии, доступной из кинематических законов сохранения, легкой частице), которое, однако, сопровождается передачей почти всей массы иона ядру-мишени.

Исследование этого необычного процесса только начинается и представляет большой интерес как с точки зрения механизма реакции, в котором возможна передача столь большой энергии легкой заряженной частице, так и с точки зрения возможности получения «холодных ядер» с энергией вращения в несколько десятков МэВ (быстровращающиеся ядра), вращательных изомерных состояний с большим угловым моментом и изучения процессов деления из таких состояний. Следует отметить, что эти реакции могут быть использованы также для поиска так называемых сверхтяжелых легчайших ядер, таких, например, как ^{10}He .

Zeitschrift für Physik, 1980, A295, S. 295; Препринт ОИЯИ, Е7—80—263, Дубна, 1980; Препринт ОИЯИ P7—80—666, Дубна, 1980.

Физика

Изменение формы ядра при захвате нейтрона

Атомное ядро представляет собой довольно плотно упакованную систему протонов и нейтронов, и при изучении многих его свойств можно пользоваться такими понятиями, как функция распределения ядерного вещества в ядре или функция распределения плотности заряда (т. е. протонов). Имея в виду зависимость этой функции от пространственных координат, и говорят обычно о сферической, симметричной, аксиально-симметричной или какой-либо иной форме ядра. При этом, как правило, подразумевается, что ядро находится в основном состоянии. Однако, если возбудить ядро, движение составляющих его нуклонов изменится, а следовательно, может измениться и форма ядра. Интегральной характеристикой формы ядра яв-

ляется среднеквадратичный радиус $\langle r^2 \rangle$. Любые изменения формы приводят к изменению $\langle r^2 \rangle$. Эту величину чаще всего и измеряют в экспериментах по определению формы ядра.

Группе специалистов ГДР и СССР, работающих в Лаборатории нейтронной физики (ЛНФ) Объединенного института ядерных исследований, удалось измерить изменение среднеквадратичного радиуса распределения протонов $\langle \Delta r_p^2 \rangle$ в ядре ^{238}U , происходящее при возбуждении ядер до энергии ~ 4,8 МэВ пучком нейтронов от импульсного реактора ИБР-30. В результате захвата нейтрона ядро урана возбуждалось до энергии, чуть большей энергии отделения нейтрона (для образовавшегося составного ядра ^{239}U это как раз 4,8 МэВ), и экспериментаторы наблюдали отдельные уровни ^{238}U (так называемые нейтронные резонансы) в виде очень узких пиков шириной 10^{-3} эВ.

Изменение формы ядра определялось по величине изомерного сдвига¹ одного из нейтронных резонансов. Использовать изомерный сдвиг нейтронных резонансов для экспериментального обнаружения $\langle \Delta r_p^2 \rangle$ предложили в 1973 г. сотрудники ЛНФ ОИЯИ В. К. Игнатович, Ю. М. Останевич и Л. Чер². Их оценки показали, что легче всего будет обнаружить эффект

¹ Изомерным сдвигом называют изменение энергии возбужденных уровней атомного ядра за счет взаимодействия протонов ядра с окружающим ядро электронным облаком. Экспериментально наблюдаемой величиной является изменение положения резонанса при помещении изучаемого ядра в химические соединения, сильно различающиеся конфигурациями электронного облака, окружающего ядро. Сдвиг положения резонанса, происходящий из-за изменения распределения плотности заряда в ядре после захвата им нейтрона, пропорционален изменению среднеквадратичного радиуса этого распределения $\langle r_p^2 \rangle$.

² Игнатович В. К., Останевич Ю. М., Чер Л. Препринт ОИЯИ, P4-7296, Дубна, 1973.

в изотопах урана, поскольку величина изомерного сдвига экспоненциально возрастает с увеличением заряда ядра и, кроме того, нейтронные резонансы ^{238}U хорошо изучены.

Экспериментаторы измерили разность изомерных сдвигов одного из нейтронных резонансов ядра ^{238}U для пяти химических соединений; эта величина колебалась в пределах (30—450) · 10⁻⁶ эВ. Отсюда было определено значение для

$$\langle \Delta r_p^2 \rangle = - \begin{vmatrix} 1,7 & +1,2 \\ -0,8 & \end{vmatrix} \cdot 10^{-26} \text{ см}^2.$$

Уменьшение среднеквадратичного радиуса оказалось неожиданно большим: по сравнению со своим значением в основном состоянии ^{238}U ($\langle r_p^2 \rangle$) уменьшился на 5%. Если учесть, что в основном состоянии ядро ^{238}U имеет форму вытянутого эллипсоида вращения с отношением осей 1:1,2, и обнаруженное изменение ($\langle r_p^2 \rangle$) полностью отнести за счет уменьшения деформации ядра, это будет означать, что ядро ^{238}U при энергии возбуждения ~ 5 МэВ становится практически сферически-симметричным.

Возможны, однако, и другие причины изменения ($\langle r_p^2 \rangle$), например, уменьшение радиуса распределения заряда или изменение самой формы этого распределения. Во всяком случае, теоретические расчеты³ дают значение $\langle \Delta r_p^2 \rangle = -0,2 \times 10^{-26} \text{ см}^2$, т. е. объясняют только знак, но не абсолютную величину эффекта.

Препринт ОИЯИ, Р4—80—135, Дубна, 1980.

Физика

Поиски суперядер

В октябре 1980 г. Ю. А. Батусов, С. А. Бунятов, В. В. Люков, В. М. Сидоров, А. А. Тяпкин, В. А. Ярба (Лаборатория ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований) сообщили о наблюдении возможного случая образования

и распада суперядра, в котором один из нуклонов заменен легчайшим «очарованным» барионом. Эксперименты были начаты в 1975 г. в фотозумльсионном секторе ЛЯП.

Предположение о возможности существования таких ядер впервые было высказано А. А. Тяпкиным¹ (ОИЯИ) и позднее обсуждалось в ряде теоретических работ. Известно, что легчайший из странных барионов (Λ^0 -гиперон) может замещать один из нейтронов в ядре и образовывать связанные состояния — так называемые гипер-фрагменты, или гиперядра. Возник вопрос, могут ли очарованные барионы образовывать связанные ядерные состояния, которые, по аналогии с гипер-ядрами, были названы суперядрами.

На основании теоретически предсказанных свойств очарованных частиц следовало ожидать следующих отличительных особенностей образования и распада суперядер: парное рождение второй очарованной частицы, аномально малые пробеги до распада ~ 1 мкм и аномально большое выделение энергии при распаде 1 ГэВ.

Время жизни очарованных частиц составляет ~ 10⁻¹³ с. Анализ показал, что в 90% случаев суперядра будут распадаться на лету и смогут проходить расстояния порядка десятка микрон. Поэтому единственный трековый прибор, с помощью которого можно зарегистрировать образование и распад суперядер, — ядерные эмульсии, обладающие наилучшим пространственным разрешением ~ 1 мкм.

С этой целью в Институте физики высоких энергий (Серпухов) фотозумльсионная камера была облучена протонами с энергией 70 ГэВ, а в Батавии (США) — протонами с энергией 250 ГэВ. В первом случае было зарегистрировано ~ 100 тыс. взаимодействий, а во втором — 125 тыс. Методика поиска заключалась в регистрации так называемых «двойных звезд» с центрами, соединенными треком от сильноионизирующей частицы и

удаленными друг от друга на расстояние, не превышающее 50 мкм. Первая звезда образуется при взаимодействии налетающего протона с ядрами фотозумльсии. В результате рождается суперядро, которое представляет собой многозарядную частицу, поэтому ее трек в фотозумльсии должен выглядеть как след от сильноионизирующего многозарядного осколка. И, наконец, распад этого суперядра дает вторую звезду. При этом выделяется энергия ~ 1 ГэВ. Кроме того, с большой вероятностью образуются странные частицы и л-мезоны.

При первоначальном анализе было зарегистрировано 5 таких двойных звезд, центры которых отстояли друг от друга примерно на 10 мкм, а выделившаяся энергия составила ~ 1 ГэВ. Однако поскольку наблюдение соединительного трека между центрами звезд в направлении ливня вторичных частиц весьма затруднительно, для дальнейшего анализа было выбрано одно событие, в котором соединительный трек второй звезды был направлен назад. При повторном просмотре окрестностей первой звезды на расстоянии $6 \pm 1,8$ мкм от ее центра была зарегистрирована «вилка». Анализ треков показал, что наиболее вероятное объяснение лучей этой «вилки» — образование л- и К-мезонов, и поэтому «вилку» можно интерпретировать как распад очарованного мезона: $D^+ \rightarrow K^+ + \pi^+$. Поэтому можно предположить, что данное событие (двойная звезда) соответствует образованию связанного состояния очарованного бариона Λ_c^+ с нуклонами, т. е. образованию суперядра. В суперядре гелия, бериллия или углерода очарованный барион распадается по схеме $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda^0 + \pi^+$ за время $2 - 5 \cdot 10^{-14}$ с.

Поиск двойных звезд продолжается. В последнее время к этим исследованиям подключились румынские физики из Центрального института ядерной физики в Бухаресте и физики Тбилисского государственного университета.

³ Бунятян Г. Г. Препринт ОИЯИ, Р4-80-712, Дубна, 1980.

¹ Тяпкин А. А. Ядерная физика, 1975, т. 22, с. 181.

Препринт ОИЯИ, Д1-80-676, 1980, Дубна; Письма в ЖЭТФ, 1981, т. 33, вып. 1, с. 56.

Физика

Глубокоупругое рассеяние мюонов на нуклонах

В результате сотрудничества ряда научных центров — Болонского университета (Италия), Европейской организации по ядерным исследованиям (ЦЕРН, Женева, Швейцария), Объединенного института ядерных исследований (Дубна, СССР), Мюнхенского университета (ФРГ) и Центра ядерных исследований (Сакле, Франция) — была создана одна из крупнейших в мире экспериментальных установок, которая функционирует уже в течение двух лет. Она предназначена для исследования глубокоупругих взаимодействий μ -мезонов с нуклонами с целью изучения структуры протонов и нейтронов вплоть до расстояний $\sim 10^{-13}$ см. Анализ экспериментальных данных позволит проверить современные теории основных типов взаимодействий между частицами в области энергий и переданных импульсов, максимально доступных на действующих ускорителях.

Установка представляет собой цилиндрически симметричный фокусирующий спектрометр с тороидальным магнитным полем. Он выполнен в виде отдельных повторяющихся единиц — супермодулей, в состав каждого из которых входит восемь 20-тонных модулей сердечника диаметром 275 см. Модули собраны так, что в зазоры между ними вставлены восемь плоскостей многопроволочных пропорциональных камер, размером 3X3 м каждая, и две плоскости кольцевых сцинтилляционных счетчиков для регистрации и восстановления траекторий рассеянных мюонов, 5-метровая мишень (жидководородная или углеродная), а также автономные мишень и обмотка, которые помещены в центральное отверстие супермодуля. По обмотке течет постоянный ток ~ 2500 А, создавая в железе тороидальное магнитное поле с индукцией 2,11 Т в центре и 1,77 Т — на краях. Практически любой из мюонов, рассеяв-

шийся в мишени на угол больше $\sim 1^\circ$, попадает в железу сердечника и захватывается на периодическую траекторию, параметры которой целиком определяются углом рассеяния и импульсом мюона.

На XX международной конференции по физике высоких энергий, которая проходила в июле 1980 г. в Мэдисоне (США), были представлены некоторые предварительные результаты анализа данных по взаимодействию положительных мюонов с ядрами углерода при энергиях 120, 200 и 240 ГэВ. При энергии 200 ГэВ впервые были получены также данные и для отрицательных мюонов. Всего проанализировано около 300 000 событий, большая часть которых лежит в новой, еще не исследованной области энергий и переданных импульсов.

При сравнении взаимодействий μ^+ и μ^- -мезонов в пределах статистической точности 2% не найдено никакой разницы в поведении их сечений, что согласуется с предсказаниями единой теории электрослабых взаимодействий.

По результатам измерения сечений при трех указанных выше энергиях вычислены неупругие структурные функции нуклона, характеризующие распределение заряда внутри протонов и нейтронов. Подтверждены результаты, полученные при меньших энергиях. Из этих результатов следует, что в состав нуклона входят более мелкие фрагменты, называемые кварками и имеющие дробный заряд. В новой области энергий дискретный (точечный) характер структуры нуклона просматривается более ясно, чем при меньших энергиях. Дальнейший анализ данных позволит установить количественные характеристики поведения структурных функций в зависимости от переданного импульса и определить точное значение нормировочного параметра N , необходимого для описания взаимодействия между кварками в квантовой хромодинамике.

Preprint CERN/IP 80—133, 1980; Препринт ОИЯИ Е1-81-44, Дубна, 1981.

Физика

Возбуждение электромагнитных колебаний в диэлектрических шариках

Облучая очень маленькие диэлектрические шарики электромагнитным излучением радио- и оптического диапазонов, можно возбуждать в них собственные колебания электромагнитного поля. Шарик служит сферическим резонатором, а колебания поля в нем возникают и поддерживаются за счет взаимодействия падающего на шарик внешнего излучения с наведенным в нем электрическим диполем. Наиболее интенсивные собственные колебания наблюдаются при совпадении частоты внешнего поля с собственными частотами таких мини-резонаторов. В спектре рассеянного шариками излучения наблюдаются характерные резонансные пики — это так называемое упругое резонансное рассеяние.

В ряде теоретических работ¹ было предсказано, что резонансные пики должны возникать и при неупругом рассеянии света минирезонаторами, т. е. при рассеянии света с изменением его частоты. Недавно Р. Веннер, П. Барбор и др. (Иелльский университет, США) наблюдали такой вид рассеяния, названный ими «неупругой резонансной флуоресценцией». В ходе эксперимента взвешенные в воде и пропитанные красителем полистироловые шарики диаметром ~ 10 мкм и относительным показателем преломления 1,195 облучались светом аргонового лазера (457,9 нм), возбуждавшим флуоресценцию красителя. В спектре рассеянного излучения флуоресценции в интервале длин волн 545—565 нм наблюдалось 6 резких максимумов на частотах, совпадавших с собственными частотами микрорезонаторов. В то же время спектр флуоресценции чистого красителя таких пиков не содержал. Расстояние

¹ См., например: Ashkin A., Dziedzic V. Phys. Rev. Lett., 1977, v. 38, p. 1351.

между пиками составляло 2—4 нм.

Положение спектральных максимумов зависит от диаметра шарика: увеличение диаметра на 0,07 мкм сдвигало спектральные линии на ~4 нм в сторону больших длин волн.

Physical Review Letters, 1980, v. 44, № 7, p. 475 (США).

Физика

Перепоглощение фотонов в полупроводнике

В 1957 г. В. Думке (США) предсказал существование в полупроводниках эффекта перепоглощения фотонов: излучаемые при рекомбинации электронов и дырок фотоны, распространяясь в кристалле полупроводника, снова поглощаются с рождением электронно-дырочных пар¹. Такой процесс может многократно повторяться, если время жизни фотона в кристалле больше времени одного акта рекомбинации. При достаточно большой интенсивности люминесценции или внешнего поля излучения перепоглощение приводит к значительным отклонениям функции распределения носителей по энергиям от равновесного фермиевского вида, а также уменьшает частоту излучения, если среднее число электронов и дырок в каждом квантовом состоянии больше $1/2^2$. Кроме того, перепоглощение увеличивает время жизни неравновесных электронов и дырок и среднее расстояние, проходимое ими в кристалле полупроводника. В результате изменяется пространственное распределение неравновесных носителей зарядов.

Именно такое поведение электронно-дырочных пар при междузонных излучательных переходах в полупроводнике антимонида индия InSb наблюдали специалисты из Парижского

университета². Этот полупроводник с шириной запрещенной зоны ~0,24 эВ (что соответствует длине волны рекомбинационного излучения ~5 мкм) обладает большим показателем преломления $n=4$. Поэтому излучение люминесценции, возникающей при возбуждении полупроводника светом, током или быстрыми электронами, испытывает внутри кристалла сильное внутреннее отражение, так что наружу выходит лишь ~1,6% всего излучения и время жизни фотона больше времени рекомбинации. Кристалл легированного InSb, находившийся в криостате при температуре 2 К, освещался с одной стороны инфракрасным излучением СО-лазера (5 мкм). Лазерное излучение с плотностью потока фотонов ~ 10^{19} фотон/см²·с создавало в приповерхностном слое толщиной 5 мкм электронно-дырочные пары.

В ходе эксперимента измерялась интенсивность люминесценции (т. е. рекомбинационного излучения) с передней, освещаемой лазером грани и с задней грани, расположенной по лучу лазера на расстоянии 60 мкм от передней. Выяснилось, что отношение «второй» интенсивности к «первой» зависит от мощности лазерного излучения: при 2 мВт это отношение составляло ~0,1; с увеличением мощности оно росло и достигало ~0,3 при 30 мВт. Кроме того, спектральный пик интенсивности люминесценции с задней грани смещался в длинноволновую сторону из-за радиационного взаимодействия.

Полученные данные нельзя объяснить, не привлекая эффекта перепоглощения. Действительно, в отсутствие последнего кванты люминесценции, возникавшие вначале вблизи освещенной грани, должны были создать на обеих гранях потоки, пропорциональные скорости их возникновения. Таким образом, отношение интенсивностей не зависело бы от этой скорости, т. е. от мощности излучения накачки. Полученная

в эксперименте зависимость указывает на уменьшение коэффициента поглощения люминесценции с увеличением мощности накачки, т. е. до задней грани доходит больше фотонов по сравнению с тем, сколько их было бы в отсутствие перепоглощения.

По-видимому, переизлучение приводит к перераспределению в пространстве электронно-дырочных пар: в кристалле возникает область их повышенной концентрации, простирающаяся от освещенной поверхности вглубь на расстояние ~20 мкм.

В. Ф. Чельцов,
кандидат физико-математических наук
Москва

Физика

Доменная структура в электронной голографии

В Исследовательской лаборатории фирмы «Хитачи» (Япония) создана установка, позволяющая наблюдать увеличенное приблизительно в 40 тыс. раз объемное изображение и магнитную структуру ферромагнитных микрокристаллов. Изображения получали лазерным восстановлением информации, зафиксированной в электронных голограммах объектов. В эту информацию входила, в частности, разность фаз двух (и более) электронных волн, которую они приобретали, пройдя сквозь области образцов либо с разной толщиной, либо с локальным магнитным полем, либо с тем и другим вместе.

Поскольку при оптическом восстановлении изображения из электронной голограммы эта разность фаз не «проявлялась», был применен интерференционный метод восстановления терявшейся информации. Световой луч от He-Ne-лазера расщеплялся на два: один пропускнулся сквозь голограмму и давал за ней увеличенное объемное изображение объекта, а второй (опорный) луч падал на плоскость, в которой формировалось изображение, интерферировал с первым лучом

¹ Dumke W. Phys. Rev. 1957, v. 105, p. 139.

² Чельцов В. Ф. ЖЭТФ, 1965, т. 49, вып. 11, с. 1492.

³ Richard R., Lavalard P., Benoit C. Solid State Comm., 1980, v. 34, № 6, p. 467.

и создавал интерференционную картину, полосы которой накладывались на наблюдавшееся изображение. Эти полосы разделяли места изображения, соответствовавшие областям объекта, имевшим либо различную толщину, либо различную величину и ориентацию вектора спонтанной намагниченности внутри доменов и их границ — доменных стенок. Наблюдавшиеся полосы и являлись изображением доменных стенок.

Исследовались плоские микрокристаллы кобальта треугольной формы размерами $\sim 300 \times 300 \times 55$ нм.

Разработанная методика весьма перспективна для исследований в области физики ферромагнетизма, а также для анализа и контроля магнитных свойств пленок с мелкодисперсными ферромагнитными покрытиями.

Physical Review Letters, 1980, v. 44, № 21, p. 1430 (США).

Химия

Фтор-фосфатные оптические стекла

Одна из главных задач современного оптического стеклоделия — получение стекол с нетривиальными свойствами. Поэтому начиная с 60-х годов, наряду с такими традиционными материалами, как окислы кремния, бора и фосфора, в качестве стеклообразователей стали использовать двуокись германия и теллура, а также сульфоселениды германия и мышьяка. В середине 70-х годов впервые в СССР до стадии промышленного производства было доведено получение бескислородного стекла на основе фторида бериллия. Это стекло обладало рядом ценных качеств, но высокая токсичность соединений бериллия затрудняла как процесс варки стекла, так и его дальнейшую обработку при получении точных оптических поверхностей. Поэтому в дальнейшем велись поиски технологии, которая бы позволила перевести в стеклообразное состояние безбериллиевые

системы, содержащие 90—95% фторидных соединений. Однако большинство таких систем в расплавленном состоянии обладает малой вязкостью, поэтому при охлаждении они кристаллизуются, а не переходят в стеклообразное состояние.

По предложению Г. Т. Петровского и Р. А. Лейдторпа (Государственный оптический институт, Ленинград) эти трудности были преодолены путем сочетания фторидов с окиснофосфатными соединениями, в частности с $\text{Ba}(\text{PO}_3)_2$. Введение окиснофосфатных добавок способствует образованию стекла при охлаждении расплавленных безбериллиевых фторидных систем. Так, в присутствии $\text{Ba}(\text{PO}_3)_2$ были получены стекла, содержащие в высоких концентрациях фториды кальция, стронция, алюминия, галлия и иттрия. Исследование структуры образующихся стекол показало, что в них существенную роль играют группировки монофторфосфата бария (BaPO_3F). Пирофосфатные и фторидные группы могут соединяться с помощью этих групп, образуя полимерно-трехмерный стеклообразный каркас.

Удалось разработать технологический процесс, обеспечивающий получение стекла в заготовках весом до 10 кг. Так как расплавленное стекло вступает в реакцию со всеми огнеупорными материалами, традиционно применяемыми в оптическом стекловарении, пришлось разработать специальные варочные сосуды из стеклоуглерода. Для предотвращения гидролиза расплавленных фторидов атмосферной влагой варка проводится с применением инертных газов.

Стекла, изготовленные на основе фторфосфатных безбериллиевых систем, обладают рядом ценных качеств, среди них — высокая химическая устойчивость не только к влажной атмосфере, но и к сильным фторирующим агентам; получено стекло с оптическими постоянными (показателем преломления, коэффициентом общей дисперсии), близкими к значениям соответствующих величин у монокристалла

фторида кальция (флюорита). Удалось получить стекла, состав которых обуславливает низкие значения термооптических постоянных, что позволяет уменьшить погрешности стеклянных элементов оптических приборов, работающих при переменной температуре. Стеклообразные фторфосфатные системы очень перспективны в качестве основы для получения лазерного стекла с высокой лучевой прочностью.

«Доклады АН СССР», 1980, т. 251, № 2, с. 343.

Биофизика

Селективное повреждение молекул лазером

Известно, что, подбирая параметры лазерного излучения (частоту, интенсивность, длительность импульса), можно в смеси добиться преимущественного повреждения молекул одного типа. Такое селективное воздействие было продемонстрировано в экспериментах по лазерному разделению изотопов, по глубокой очистке вещества, по детектированию единичных атомов и т. д. Недавно группа специалистов из Миланского физико-политехнического института — А. Андреони, Р. Кубедду, С. Де Сильвестри, П. Лапорта и О. Зельво — предложила метод селективного лазерного повреждения комплексов краситель — биомолекула, использующий двухступенчатую фотоионизацию.

Идея метода заключается в следующем: при внедрении красителя в биомолекулу его время жизни в первом возбужденном электронном синглетном состоянии (S_1) определяется тем, к какому месту биомолекулы он прикреплен. Например, в биомолекуле могут иметься два места для внедрения красителя с различными временами жизни состояния S_1 — τ_1 и τ_2 , причем τ_2 больше τ_1 . Этот комплекс подвергают воздействию лазерного излучения такой частоты, чтобы возбудить состояние S_1 красителя. Спустя время, большее, чем τ_1 , возбужденной

останется лишь часть молекул красителя с временем жизни τ_2 . Облучая затем комплекс вторым лазерным импульсом с длиной волны, достаточной для ионизации молекулы красителя из состояния S_1 , можно селективно повредить биомолекулу в местах, характеризующихся временем жизни τ_2 . И напротив, используя возбуждение триплетных состояний, можно селективно воздействовать на другие места прикрепления красителя, характеризующиеся временем τ_1 .

В эксперименте использовался краситель профлавин из семейства акридиновых. Молекула красителя внедрялась в синтетические молекулы полинуклеотидов PolydG — PolydC и PolydA — PolydT. Облучение производилось лазерными импульсами с длиной волны 430 нм (первый импульс) и 337 нм (второй, задержанный импульс). В случае, когда время между лазерными импульсами составляло 8 нс, комплекс профлавина — PolydA — PolydT повреждался в 40 раз сильнее, чем комплекс профлавина — PolydG — PolydC.

Physical Review Letters, 1980, v. 45, No 6, p. 431 (США).

Генетика

Гены чувствительности клеток к действию интерферона

Одно из основных свойств интерферона — способность сообщать клеткам невосприимчивость к патогенному воздействию на них различных вирусов¹. Однако даже в пределах одного организма различные клетки по-разному реагируют на антивирусное действие интерферона. Было обнаружено, что для антивирусного воздействия интерферон обязательно должен войти в контакт с клеточной поверхностью и прикрепиться

к ней. В опытах по гибридизации человеческих клеток с клетками животных удалось показать, что чувствительность к действию интерферона связана с геном, локализованным в 21-й хромосоме, причем этот ген (или гены) кодирует чувствительность клеток человека ко всем типам человеческого интерферона — лейкоцитарному, фибробластному и иммунному. Было показано также, что от числа копий 21-й хромосомы в клетках зависит чувствительность человеческих фибробластов не только к человеческому, но и к мышиному интерферону.

В дальнейшем было установлено, что деятельность 21-й хромосомы связана не с кодированием антивирусных белков, как думали еще совсем недавно, а с синтезом специальных белков поверхности клеток, так называемых рецепторов, к которым прикрепляются молекулы интерферона.

Эти данные не только глубже раскрывают механизм возникновения антивирусного состояния клеток под воздействием интерферона, но, возможно, указывают путь увеличения его производства путем создания линий клеток с увеличенным числом копий 21-й хромосомы.

Соловьев В. Д., Ершов Ф. И. Интерферон и его индукторы. М.: Медицина, 1980, с. 35; Nature, 1980, v. 285, No 5766, p. 536 (Великобритания).

Генетика

Фитогормон влияет на мутационные процессы

Фитогормон ауксин (индолилуксусная кислота) — один из наиболее широко распространенных природных регуляторов роста растений. Недавно выяснилось, что помимо непосредственного участия в ростовых процессах ауксин может воздействовать на реализацию индуцированных химическими или физическими агентами мутаций у высших растений.

Исследования Г. Ф. Привалова (Институт цитологии и

генетики СО АН СССР) показали, что у клена ясенелистного частота хлорофильных или морфологических мутаций может быть существенно увеличена или уменьшена путем обработки семян ауксином, причем степень его действия зависит от момента применения препарата — перед или после обработки семян химическими мутагенами или рентгеновскими лучами. Кроме того, выявлено, что частота хлорофильных и морфологических мутаций зависит от типа роста растений (среди потомства растений, подвергшихся воздействию мутагенов, появляются формы со стабильным и нестабильным ростом; последние характеризуются резким снижением темпа роста при понижении температуры).

Предмутагенная обработка семян ауксином резко повышает частоту хлорофильных мутаций (нарушение процессов синтеза хлорофилла) у растений с нестабильным ростом, тогда как частота морфологических мутаций (изменение формы листьев) остается практически постоянной у растений и со стабильным и с нестабильным ростом. Постмутагенная обработка ауксином в случае хлорофильных мутаций имеет такое же действие, как и предмутагенная, т. е. частота хлорофильных мутаций существенно выше у растений с нестабильным ростом. Действие же постмутагенной обработки на частоту мутаций формы листьев оказалось противоположным: частота таких мутаций выше у растений со стабильным ростом. Поскольку все мутанты с измененной формой листьев характеризуются замедленным ростом, можно предположить, что эти морфологические признаки контролируются единой функционально объединенной группой генов, способной активизироваться одним фитогормоном — ауксином. Следовательно, путем изменения концентрации гормона или последовательности обработки семян гормоном и мутагеном можно увеличить либо уменьшить частоту хлорофильных и морфологических мутаций.

¹ Об интерфероне см.: Кобринский Г. Д. Интерферон. — Природа, 1981, No 1, с. 20.

В связи с этим выдвинута гипотеза о двояком действии мутагенов в процессе мутирования и двояком модифицирующем влиянии фитогормонов, в частности ауксина. Суть гипотезы в следующем: мутации возникают не только вследствие повреждения мутагенной нитью ДНК, но и при прямом воздействии мутагена на ферменты, участвующие в репликации или восстановлении поврежденных ДНК (ДНК — полимеразы, полинуклеотидлигазы). При таком действии в структуре ферментов могут возникать стабильные изменения. Модифицирующее действие гормонов также двояко: во-первых, они могут повышать генную активность и тем усиливать мутагенный эффект рентгеновского облучения или химических мутагенов, а во-вторых, гормоны могут связываться с ферментами в цитоплазме и менять их подвижность или другие свойства, тем самым воздействуя на точность воспроизведения структуры ДНК и последующую реализацию мутаций в фенотипе.

Особый интерес вызывает тот факт, что один и тот же фитогормон может влиять на активность не одного, а целой группы генов, которые контролируют один или несколько признаков. Для практических же целей использования мутагена в селекции растений важно получить изменения в фенотипе. Поэтому безразлично, какой из многих генов, контролирующих данный признак, мутировал. В этом плане использование фитогормонов как модификаторов имеет не только теоретическое, но и практическое значение.

Генетика, 1980, т. XVI, № 12, с. 2176—2185.

Биохимия

Синтетический «пептид сна» не активен

Три года назад группа швейцарских исследователей¹ сообщила об открытии вещества, которое получило название

«DSIP» (Delta Sleep Inducing Peptide — пептид, вызывающий дельта-сон²). Этот пептид был обнаружен у кроликов в крови, оттекающей от мозга, при низкочастотной стимуляции ядер гипоталамуса. Если это вещество ввести в желудочек головного мозга, то в энцефалограмме кролика возникают значительные сдвиги: в течение длительного времени (~1,5 ч) у животных можно наблюдать увеличение количества и амплитуды дельта-волн.

Пептид сна вызвал большой интерес у физиологов и нейрохимиков; была установлена его структура (оказалось, что это небольшой пептид, содержащий 9 аминокислот), его свойства изучались во многих лабораториях мира, однако до сих пор специалисты не пришли к единому мнению. Наряду с сообщениями о том, что после внутривенного введения этого пептида продолжительность сна у кроликов, кошек и мышей увеличивается на 30%, наряду с описанием наркозоподобных эффектов при введении больших доз пептида в головной мозг, известно немало работ, в которых подобные свойства природного DSIP опровергаются.

Недавно В. М. Ковальзон и В. Л. Цибульский (Институт биоорганической химии им. М. М. Шемякина АН СССР) синтезировали пептид, содержащий 9 аминокислот, химическое строение которого соответствует формуле «пептида сна». Свойства этого синтетического пептида были исследованы в Институте эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР;

опыты проводились на кроликах и крысах. Животным предварительно вживляли электроды в лобные и затылочные отделы мозга для регистрации электроэнцефалограмм. У них регистрировали также активность мышц шеи и глаз, что дает дополнительную информацию о состоянии сна или бодрствования организма. Каждому животному несколько раз вводили через вену или непосредственно в желудочек мозга раствор синтетического пептида или же контрольные растворы (которыми служили физиологический раствор, либо «коктейль» — смесь из тех девяти аминокислот, которые входят в состав «пептида сна»). Наблюдения за животными велись в течение 3—4 ч после введения растворов.

В результате проведенных исследований гипногенное действие синтетического пептида не было обнаружено ни у кроликов, ни у крыс, независимо от вводимой дозы вещества. Исследователи пришли к выводу, что, очевидно, представления о DSIP как о естественном регуляторе сна нуждаются в дальнейшей проверке.

Журнал высшей нервной деятельности, 1980, т. XXX, вып. 5, с. 1064—1066.

Иммунология

Ультразвук и противоопухолевый иммунитет

Известно, что при определенных ультразвуковых воздействиях вирусы и бактериальные клетки утрачивают токсичность и вирулентность (способность заражать), сохраняя при этом способность вызывать у экспериментальных животных образование антител и соответствующий иммунитет. А нельзя ли аналогичным образом выработать стойкий противоопухолевый иммунитет, вводя в организм обработанные ультразвуком опухолевые клетки?

Недавно В. И. Ерохину и Ф. И. Брагиной (Институт хими-

¹ Schoenberger G. A., Maier P. F. et al. Pflüger's Arch. ges. Physiol., 1978, v. 376, № 2, p. 119.

² О делении сна на различные фазы, в том числе на дельта-фазу, для которой в энцефалограмме наблюдаются так называемые дельта волны (с частотой 0,5—4 Гц и относительно большой амплитудой), подробнее см.: Латаш Л. П. Функции сна: факты и гипотезы. — Природа, 1977, № 8, с. 28.

ческой физики АН СССР) удалось подобрать такие условия ультразвукового воздействия на выделенные опухолевые клетки, при которых они теряли способность делиться, не давали роста опухоли при введении их лабораторным животным и в то же время вызвали развитие противопухолевого иммунитета.

Клетки, выделенные из опухоли в физиологический раствор, помещали в сосуд с акустически прозрачным дном и в течение 10—40 мин обрабатывали ультразвуком с частотой 750 кГц. «Озвученную» суспензию вводили внутривенно или подкожно по 0,3—0,5 мл ($1 \cdot 10^7$ клеток) здоровым животным. Через 1—2 недели после такой иммунизации им трансплантировали жизнеспособные опухолевые клетки. Эффективность противопухолевого иммунитета оценивали по проценту возникающих опухолей в подопытной и контрольной (неиммунизированной) группе животных.

Наиболее выраженный положительный эффект дала иммунизация мышей против экспериментально вызванной у них саркомы — 37 (злокачественной опухоли соединительной ткани). Предварительное двукратное внутривенное введение «озвученных» клеток этой опухоли приводило к полному подавлению ее роста у большинства подопытных животных.

Отчетливо выраженная задержка роста опухоли наблюдалась в случае иммунизации животных против рака молочной железы, возникающего у мышей линии А спонтанно, хотя полного торможения развития рака не происходило. В данном случае, по-видимому, также развивались противоопухолевые иммунные реакции, однако недостаточно сильные, чтобы полностью предотвратить появление опухоли.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности этого нового направления иммунотерапии.

Известия АН СССР, серия биологическая, 1980, № 6, с. 932—934.

Медицина

Попытки лечения метастазов

Клетки иммунной системы — макрофаги — способны бороться с опухолевыми клетками, если их предварительно обработать так называемым макрофагаактивирующим фактором (МАФ). Он выделяется лимфоцитами после воздействия на них различных антигенов или же митогенов (веществ, способствующих клеточному делению). Противоопухолевая активность макрофагов, предварительно обработанных МАФ в пробирках, была установлена рядом исследователей при введении этих клеток животным, имеющим опухоли. Однако использование такого метода для лечения опухолей в клинике — задача почти невыполнимая, так как в этом случае макрофаги должны быть получены из организма больного, что является сложной и тяжелой процедурой.

И. Дж. Фидлер (лаборатория терапии опухолей и метастазов Центра исследований рака в Фредерике, США) попытался активировать макрофаги, не извлекая их из организма. Был использован уже известный факт, что липосомы (капельки жира, плавающие в цитоплазме клеток или приготавливаемые искусственно) способны легко проникать внутрь клеток и вводить в них заключенные в липосомах вещества. Предварительные исследования показали, что МАФ, введенный внутрь липосом, более активно сенсибилизирует макрофаги, находящиеся в пробирке, чем МАФ в свободном состоянии.

Опыты проводились на мышах, которым подкожно вводили опухолевые клетки двух видов меланом. Через 3 дня после этого животным для лечения развившихся у них метастазов стали вводить липосомы, содержавшие МАФ. Липосомы состояли из хроматографически чистых фосфатидилсеринов, полученных из куриных яиц и из мозга быка в соотношении 1:1. Они вводились

лишь внутривенно в солевом растворе два раза в неделю в течение трех недель. Контролем служили животные, которым вводили липосомы, не содержавшие МАФ. Спустя 2 недели после окончания лечения животные были обследованы на наличие у них метастазов. У 73% мышей, которым вводились липосомы, содержавшие МАФ, метастазы не были обнаружены, тогда как число животных, свободных от метастазов в контрольной группе, составило всего 10%. Введение МАФ без липосом или липосом, содержащих физиологический раствор, не уменьшало среднего числа метастазов у животных по сравнению с контрольной группой. В отдельной группе животных, у которых первичные опухоли не удалялись, лечение с помощью МАФ, заключенных в липосомах, дало плохие результаты.

Полученные данные позволяют предположить, что такая форма терапии опухолей может оказаться весьма ценным дополнением к обычным методам борьбы с метастазами после хирургического удаления первичных опухолей.

Cancer Research, 1979, № 39, p. 881 (США); Science, 1980, v. 208, № 4451, p. 1468—1471 (США).



Медицина

Тучных становится больше

Группа сотрудников Института питания АМН СССР и Института питания АН ГДР проанализировала результаты пятилетнего изучения причин ожирения. Чтобы установить зависимость этого явления от особенностей питания населения, были сопоставлены данные обследования 4700 жителей Москвы и Московской области и 3000 жителей ГДР. Обследование проводилось опросно-анкетным методом в аналогичных по возрастному, половому и профессиональному признакам группах населения в возрасте от 18 до 60 лет,

включая работников как умственного, так и физического труда.

Средний процент страдающих ожирением близок в СССР и ГДР и составляет соответственно 26 и 30%. В обеих странах частота этого явления несомненно прогрессирует в возрасте после 35 лет; отмечен и достаточно высокий его процент (14%) у лиц молодого возраста. Как в ГДР, так и в СССР женщины более склонны к ожирению: число тучных женщин в 2—3 раза превышает число тучных мужчин, причем крайняя степень ожирения у женщин встречается чаще.

При анализе питания лиц, страдающих ожирением, выявлена очень высокая калорийность их пищи. Так, у 50% обследованных тучных людей суточный рацион превышал 4000—5000 ккал, иногда достигая 8000—9000 и даже 11 000 ккал. Изучив среднесуточный набор пищевых продуктов, исследователи обратили внимание на резко увеличенное потребление населением ГДР жиров и кондитерских изделий, а населения СССР — хлебных изделий (в том числе печения и сдобы). Если в СССР квота жиров соответствует 40% суточного рациона (при рекомендуемых 30%), то в ГДР этот показатель вырос до 48%. В обеих странах очень незначительно потребление растительных жиров, свежих овощей и фруктов.

Подтверждена большая роль в развитии тучности нарушений в пищевом режиме. Так, в ГДР среди тучных преобладают лица, питающиеся 2—3 раза в день. Гораздо реже встречается тучность у тех, кто принимает пищу 4—5 раз в сутки. Нарушение режима питания (обильная еда на ночь, нерегулярная еда 2 раза в день) отмечена у 67% страдающих ожирением среди обследованных в СССР.

Институты — участники этого исследования разработали программу мероприятий, в числе которых важное внимание уделяется: организации широкой пропаганды принципов рационального питания; своевременному выявлению в амбулаториях лиц с измененным

весом и диспансерному наблюдению за ними; организации курсов по основам рационального питания и способам приготовления малокалорийных блюд; серийному выпуску разработанного в Институте питания АМН СССР счетчика калорий, позволяющего определить энергетическую ценность дневного рациона с учетом энергетических затрат человека; развращению производства продуктов питания, обладающих высокой биологической ценностью при минимальной калорийности. Осуществление этих мероприятий будет способствовать предупреждению развития ожирения и его многочисленных осложнений.

Вопросы питания, 1980, № 2, с. 17—20.



Экология

Рыба чистит водоемы

Многолетние наблюдения американского ихтиолога Ф. Легнера (Университет штата Калифорния) привели его к убеждению, что африканская растительноядная рыба тилапия (*Tilapia*) из семейства цихловых может быть использована для мелиорации водоемов.

По инициативе Легнера этими рыбами была заселена ирригационная система долины р. Коачелла (Калифорния). Через короткое время стало возможным полностью отказаться от дорогостоящей расчистки каналов от водорослей с помощью тракторов и траловых сетей. Экономия составляет сотни тысяч долларов в год.

Каждое лето водоросли разрастаются здесь столь сильно, что к августу перекрывают водоток, нередко приводя к движению воды вспять. Некоторые разновидности водных растений дают прирост до 10 см в сутки. Запущенные же сюда тилапии способны поедать водоросли в таком количестве, что проблему очистки можно считать решенной.

Еще одна особенность тилапии в том, что эта рыба

охотно поедает взрослых москитов и их молодь. Наконец, тилапия способствует росту численности более ценных пород рыбы тем, что сама служит им пищей.

Комиссия по рыболовству в бассейне р. Колорадо, предполагая использовать тилапию для очистки рек и этого бассейна, предварительно изучает вопрос, не повредит ли африканский вселенец сложившейся здесь экологической системе.

The Sciences, 1980, v. 20, № 9, p. 4 (США).



Экология

Экологические минусы лесоразведения

Природоохранительные организации Великобритании протестуют против решения Государственной комиссии по лесоводству о резком расширении посадок хвойных пород в горных районах страны. Ряд специалистов считают ошибочным мнение, будто разведение лесов на открытых вересковых пустошах, характерных для ландшафта Шотландии, создает желательное разнообразие видов растений и животных. В действительности это далеко не так. Например, в некоторых лесонасаждениях возникают крупные популяции и без того распространенных здесь видов птиц (сница, зяблик, королек). Однако это никак не может возместить утрату более редких видов (таких, как большой улит), встречающихся только в вересковой пустоши.

Специалисты отмечают, что в Великобритании искусственно созданные начиная с 1920-х годов лесные массивы (в основном хвойные), как правило, бедны видами и растений и животных. Там, где эти леса заменили собой хорошо развитую открытую вересковую пустошь, произошло существенное сокращение экологического разнообразия.

New Scientist, 1980, v. 87, № 1215, p. 573 (Великобритания)



Иод в почвах Алтая

Известно, что недостаток иода в рационе, как и его избыток, может приводить к заболеваниям, поэтому важно знать его распределение в природной среде, в первую очередь в почве — основном носителе и поставщике этого микроэлемента для растений, а через них — для животных и человека. Такие сведения особенно необходимы в районах заболевания зобом, к которым относятся преимущественно горные области.

М. А. Малыгин (Институт почвоведения и агрохимии СО АН СССР) выявил особенности распределения иода в почвах Алтая.

Установлена неравномерность распределения иода в почвах различного типа, в известной степени обусловленная неоднородностью концентрации иода в горных породах. Если в гранитах имеются лишь следы иода, то в метаморфических и осадочных породах (сланцах, песчаниках, алевролитах, доломитах) его содержится больше — до 0,4 мг/кг. При выветривании горных пород количество иода в них увеличивается, по-видимому за счет приноса с атмосферными осадками, грунтовыми водами и т. д.

На Алтае есть почвы, в которых иод вообще не обнаружен, и почвы с достаточно высоким его содержанием. Максимум установлен в карбонатных почвообразующих породах тяжелого механического состава — лессовидных суглинках, аллювиальных суглинистых и глинистых отложениях. Существенно меньше иода в кислых почвообразующих породах легкого механического состава, содержащих много грубого материала. Промежуточное положение занимают делювиальные бескарбонатные бурые глины.

Распределение иода по глубине почвенного разреза неравномерно и зависит от особенностей почвообразова-

тельного процесса, механического состава и кислотности почв, содержания в них гумуса. В хорошо увлажненных кислых почвах иод выносится с повышенных участков и накапливается в почвах долин и котловин. В почвах черноземного типа отмечено два максимума иода — в гумусовом и в карбонатном горизонтах. Объясняется это тем, что гумусовые вещества поглощают иод, карбонаты же ограничивают подвижность иода и также способствуют его фиксации.

По содержанию иода в гумусовом горизонте почвы Алтая подразделены на четыре группы. Максимальное содержание (в среднем 7,6 мг/кг) — в луговых черноземах. Достаточно высокое (4,8 мг/кг) — в оподзоленных и выщелоченных черноземах. Немного иода (3,8 мг/кг) — в черноземах межгорных котловин и речных долин; в этих районах имеется потенциальная опасность иодной недостаточности. Минимальное содержание (1,7 мг/кг) — в почвах высокогорного и лесного поясов, а также в каштановых почвах; в этих районах возможны заболевания зобом у человека и животных.

Почвоведение, 1980, № 8, с. 74—81.

Геология

72-й рейс «Гломара Челленджера»

Новая экспедиция бурового судна «Гломар Челленджер», как и предыдущая, была посвящена исследованию палеоокеанологической среды Южной Атлантики. Основное внимание при этом уделялось изучению древних течений и связанной с ними седиментации в Бразильской котловине и на возвышенности Рио-Гранде за последние примерно 40 млн лет.

72-й рейс начался 26 февраля 1980 г. из порта Сантос (Бразилия) и завершился там же 9 апреля. В со-

ставе экспедиции было 11 специалистов — представителей стран-участниц Международного проекта океанского бурения (в том числе автор этого сообщения), а также два геолога из Бразилии. Научное руководство осуществляли Д. Джонсон, Р. Карлсон (США) и П. Баркер (Великобритания).

Как было установлено в предыдущих (3-м, 39-м и 71-м) рейсах, направление и скорость течений в Южной Атлантике определялись взаимным положением крупных подводных поднятий (спредингового Срединно-Атлантического хребта и возвышенности Рио-Гранде), а также разделяющих их впадин (канала Вимы и др.). Само же положение этих структур контролировалось относительным перемещением Африканской и Южноамериканской литосферных плит.

Из четырех пробуренных в рейсе скважин одна располагалась в южной части Бразильской котловины, остальные — на своде и флангах возвышенности Рио-Гранде. Выбор этого района диктовался необходимостью определить время проникновения холодных Антарктических придонных водных масс в Бразильскую котловину. Предполагалось, что следы этого течения прежде всего будут обнаружены на возвышенности Рио-Гранде. Скважина в сводовой части этой возвышенности имела и самостоятельное значение: она должна была осветить историю развития этой морфоструктуры.

В районах бурения предварительно были проведены детальные сейсмические исследования. В Бразильской котловине обнаружена резкая субгоризонтальная отражающая граница на уровне 0,74 с, а на возвышенности Рио-Гранде, примерно на той же глубине, — нерегулярная граница, которая предварительно интерпретировалась как тектонически раздробленный фундамент. Однако результаты бурения заставили отказаться от такой интерпретации.

Скважина 515 была составной: 515А была пройдена с помощью гидравлического пробоотборника до глубины 107,9 м, а 515В — обычным ро-

торным способом в интервале глубин 96—636,4 м. Надо отметить, что гидравлический пробоборник, впервые опробованный в 69-м рейсе и полностью введенный в эксплуатацию в 71-м, дает возможность получить осадочную колонку почти без перерывов (выход керна в скважине 515А составил 89%) при незначительном нарушении. Однако время бурения скважины при таком способе увеличивается вдвое, что лимитировало его применение в данной экспедиции.

В скважине 515 были выделены четыре литологических комплекса. Граница перерыва, вскрытая в скважине 515В на глубине 617 м, с высокой точностью совпадает с мощным сейсмическим отражающим горизонтом. Литологические изменения могут свидетельствовать о проникновении в пред-позднеолигоценовое время холодных водных масс в Бразильскую котловину. Вероятно, перемены в режиме течений обусловили и значительный перерыв в осадках — длительностью 20—25 млн лет.

Литологические данные показывают, что начиная с олигоцена (около 35 млн лет назад) режим течений Южной Атлантики был энергичным и нестабильным. На это указывает и существование мелких перерывов в довольно однородной толще осадков, следы перерыва и повторного отложения осадков и смена микрофауны. Значительно отличалась и скорость седиментации в различные периоды. Если в эоцене она была низка, хотя и типична для глубоководных районов открытого моря ($6 \cdot 10^{-4}$ см/год), то в период, когда антарктические донные воды принесли с юга значительный объем новых осадков, скорость их отложения резко возросла до $40 \cdot 10^{-4}$ см/год и оставалась такой на протяжении олигоцена и миоцена, а затем несколько уменьшилась — до 20— $35 \cdot 10^{-4}$ см/год в верхней части разреза.

Сейсмические данные прекрасно коррелируют с осадочной колонкой. Это относится не только к основному отражающему горизонту, но и к нескольким слабым грани-

цам внутри осадочной толщи. По-видимому, сейсмические данные позволят картировать в Бразильской котловине различные литологические комплексы.

Вблизи сводовой части возвышенности Рио-Гранде было пробурено семь скважин, однако только три оказались успешными (516, 516А, 516F). Здесь выделено восемь литологических комплексов.

Общая толщина осадочного слоя, накопившегося почти без перерывов за время от сантона (80 млн лет назад) до наших дней, близка к 1250 м.

Анализ осадочного слоя позволяет представить следующую историю возвышенности Рио-Гранде. Многочисленные

вулканические излияния, которые, очевидно, и привели к образованию этой возвышенности, в целом завершились к середине позднего мела. В это время возвышенность уже находилась на значительном расстоянии от срединно-океанического хребта. Вероятно, ее сводовая часть находилась над уровнем океана: брекчия, вскрытая скважиной 516F непосредственно над базальтами и являющаяся продуктом их разрушения, содержит в большом количестве обломки раковин мелководных моллюсков,

Район работы бурового судна «Гломар Челленджер» в 72-м рейсе.



Скважины 72-го рейса «Гломара Челленджера»

скважина	южная широта	западная долгота	глубина океана, м	глубина проникновения, м	выход керна, %
515	26°14'	36°30'	4250	55,5	31
515A	26°14'	36°30'	4252	107,9	89
515B	26°14'	36°30'	4252	636,4	79
516	30°47'	35°17'	1313	183,3	81
516A	30°47'	35°17'	1313	69,5	88
516F	30°47'	35°17'	1313	1270,6	63
517	30°57'	38°02'	2963	50,9	95
518	29°58'	38°08'	3944	76,7	78

Характеристики разрезов в скважинах 515, 516

скважина 515		
горизонт, м	состав пород	возраст
0—180	глинистые илы	четвертичный — поздний миоцен (I)
180—531	кремнистые илы и глинистые сланцы	средний миоцен — поздний олигоцен
531—617	глинистые сланцы	поздний олигоцен
перерыв 20—25 млн лет		
617—636,4	плотные известково-цеолитовые глинистые сланцы	ранний эоцен
скважина 516		
0—198	фораминиферовые и наинопланктонные илы	четвертичный — ранний миоцен
198—332	те же илы и мел	ранний миоцен — поздний олигоцен
332—610	наинопланктонный и фораминиферовый мел	поздний олигоцен — поздний эоцен
610—875	известняки и мел с прослоями турбидитов и пепла	средний эоцен
875—950	микрористаллические известняки	средний эоцен — ранний палеоцен
950—1100	известняки и мергилитые известняки	ранний палеоцен — маастрихт (кампан)
1100—1240	мергилитые известняки и глинистые сланцы	кампан—сантон
1240—1252,6	известковая и вулканическая брекчия	сантон (I)
1252,6—1270,6	базальты, три покрова	сантон (I)

морских ежей, кораллов и т. п. Это указывает, что разрушение базальтов происходило в приповерхностных условиях. Мелководные органические остатки содержатся и в верхней части

базальтового покрова. В дальнейшем в связи с ослаблением вулканической деятельности и постепенным удалением возвышенности от срединно-океанического хребта она стала по-

гружаться. Величина погружения составила около 1000 м, и, судя по осадкам, эта глубина оставалась более или менее неизменной на протяжении конца мела и кайнозоя. Осадки, слагающие чехол этой возвышенности, по составу весьма однородны и характерны для условий пелагическо-биогенной седиментации. Степень кристаллизации карбонатов закономерно увеличивается сверху вниз.

Особый интерес представляет 265-метровая толща среднего эоцена (45 млн лет назад), содержащая до 30% прослоев пепла и турбидитов. От лежащих ниже раннекайнозойских известняков она отделяется 15-метровым оползнем известняков позднего мела (маастрихта). Это может свидетельствовать о том, что свод возвышенности Рио-Гранде все еще подвергался в эоцене размыву (сейчас глубина океана там около 700 м), а тектоническая деятельность полностью не прекратилась. Об этом говорит и присутствие в разрезе вулканических пеплов, источник которых был, по-видимому, местным.

Со среднеэоценовой толщей связана и резкая сейсмическая граница, которая первоначально интерпретировалась как тектонически нарушенный фундамент возвышенности. В действительности фундамент залегает значительно глубже (в 2 раза!), а там, где на сейсмическом разрезе видны многочисленные куполообразные структуры, как бы прорывающие вышележащие осадки, проходит «фронт» диагенетических преобразований в осадке. Диагенез известняков был вызван поступлением снизу, из вулканического материала, силикатных растворов, приведших к образованию здесь прослоев кремней. Базальтовый же фундамент возвышенности на сейсмических разрезах не выделяется.

Скважина 516 с наибольшей полнотой раскрывает историю седиментации в Южной Атлантике. Благодаря полноте разреза и хорошей сохранности фауны она становится опорной для этой части океана. Опыт ее бурения показал

вместе с тем необходимость критически относиться к сейсмическим данным о строении глубоких частей осадочной толщи, в особенности в пределах возвышенностей дна, для которых можно предполагать сложную и многофазную историю развития.

Скважины 517 и 518, пробуренные на западном склоне возвышенности Рио-Гранде, вблизи канала Вимы, проникли в осадочную толщу соответственно на 50,9 и 76,7 м. Обе они не вышли из отложений миоценового возраста. В накопленных терригенно-карбонатных осадках наблюдается много перерывов, свидетельствующих о нестабильном режиме древних течений. Возможно, в плиоцене холодные антарктические придонные воды распространились ближе к поверхности океана, чем в настоящее время.

Окончание рейса произошло в сложных погодных условиях, поэтому основная задача бурения скважин 517 и 518 — установить время, когда антарктические воды устремились через канал Вимы в Бразильскую котловину, — не была выполнена. Трудные погодные условия не помешали, однако, достижению нового технического рекорда: бурение скважины 516F продолжалось непрерывно и без смены бурового инструмента в течение 157,4 ч.

А. Е. Сузюмов,
кандидат геолого-
минералогических наук
Москва

Геология

**Карта теплового потока
Северной Атлантики**

Для выявления механизма развития тектоносферы океанов важно знать пространственно-временные изменения теплового поля Земли. Как выясняется, между величиной теплового потока и возрастом тектоно-магматической актив-

ности существует зависимость¹. Следовательно, геотермические данные можно использовать для проверки гипотез о происхождении и эволюции структур океанического дна.

А. К. Попова, Я. Б. Смирнов, А. И. Иоффе и М. Д. Хурторской (Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР и Геологический институт АН СССР) построили карту теплового потока Северной Атлантики (от экватора до 75° с. ш.), где они с 1969 г. проводили геотермические исследования в трансформных разломах и в рифтовой зоне Срединно-Атлантического хребта. Авторы использовали более 800 экспериментальных измерений теплового потока

На карте **рифтовая зона Срединно-Атлантического хребта** (возраст 0—10 млн лет) выделяется как область резких вариаций теплового потока. Несмотря на структурное единство этой зоны, здесь установлены симметричные относительно оси хребта полосы, существенно различающиеся по величине q — от 0 до 460 мВт/м² (при среднем значении 96 ± 84 мВт/м²). От оси хребта к периферии рифтовой зоны средние значения и относительные величины q (дисперсия) резко уменьшаются. По обе стороны от оси рифта, в областях, где возраст океанического дна 7—10 млн лет, тепловой поток характеризуется в среднем нормальными значениями (40—60 мВт/м²) и высокой дисперсией; здесь же отмечен аномально низкий уровень q (10—30 мВт/м²).

Подобная картина наблюдается на всех срединно-океанических хребтах Мирового океана. Особенности такого распределения теплового потока в рифтовых зонах обычно связывают с современной вулканической и гидротермальной активностью. Действительно, на примере Исландии и хребта Колбенсей показано, что общие потери тепла в центральной

узкой части рифта (возраст 1—2 млн лет) определяет конвективный вынос — 500 мВт/м², при этом кондуктивный поток составляет около 20%, вынос тепла магмой — 50%, гидротермамии — 30% от этой величины. Однако вдоль рифтовой зоны и поперек нее соотношения между различными формами выноса тепла меняются и потому провести здесь изолинии трудно.

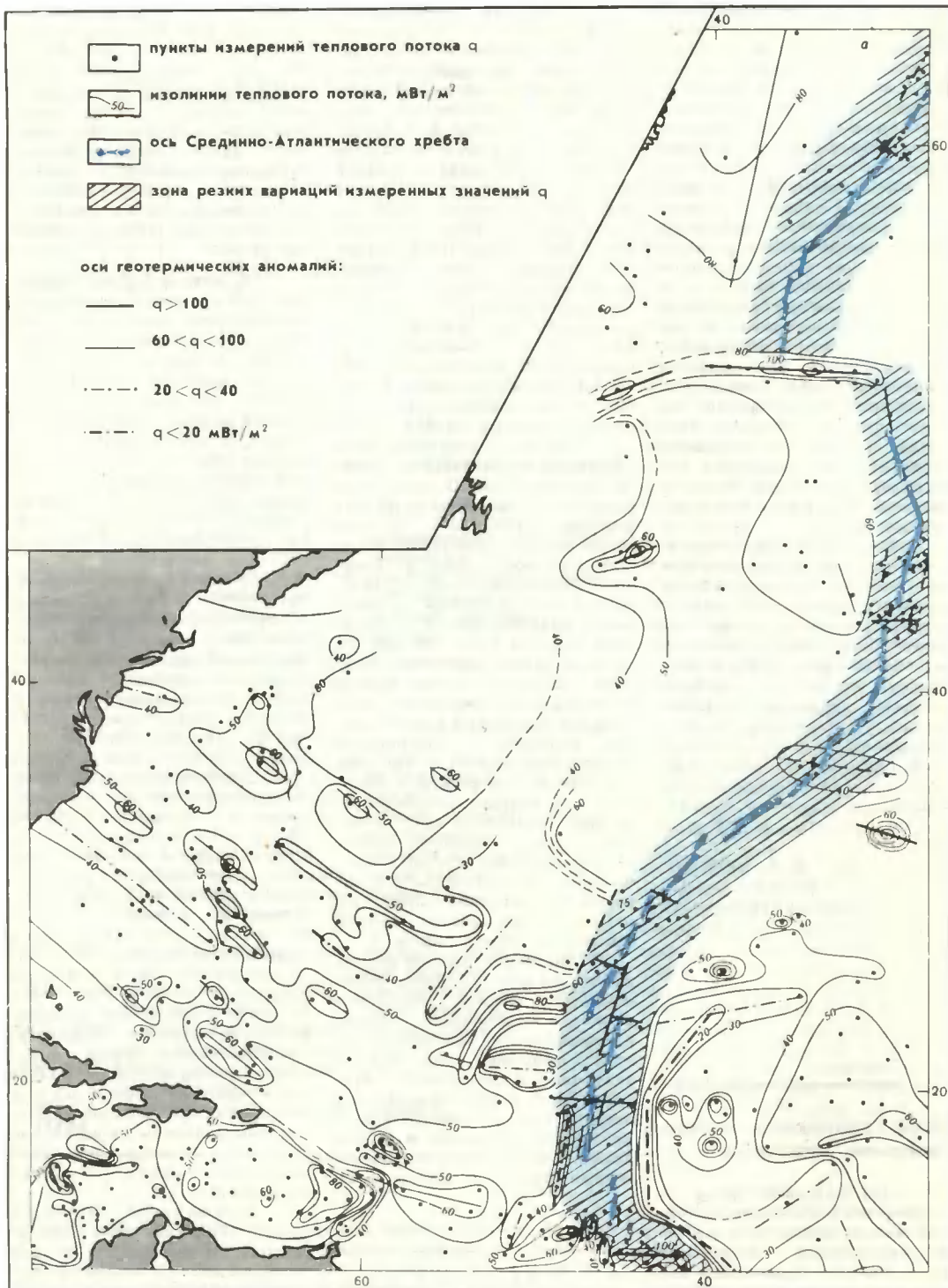
В трансформных разломах осевой части Срединно-Атлантического хребта тепловой поток относительно стабилен и аномально высок. Поскольку осадки достигают здесь толщины 1 км (разломы Гиббса, Океанографа, Атлантис, Вима и др.), а конвективный вынос тепла в них ограничен или отсутствует, измеренный кондуктивный поток оказался близким к общему выносу тепла в осевой зоне хребта и составил 300—400 мВт/м².

Фланги срединного хребта (10—15 млн лет) — это неоднородные тектонические структуры. Так, к северу от 60° с. ш., помимо современного хребта Колбенсей, находятся древние рифты, которым соответствуют области повышенного значения q , что закономерно связано с возрастом этих структур.

Глубоководные котловины раннекайнозойского и мезозойского возраста (более 50 млн лет), занимающие около 75% площади Северной Атлантики, характеризуются нормальным и довольно однородным тепловым полем (40—60 мВт/м²). На этом фоне выделяются небольшие отрицательные и положительные аномалии (20—40 и 60—80 мВт/м²), связанные с глыбово-вулканическими поднятиями, подводными горами и древними трансформными разломами, часто погребенными под слоем осадков. Аномалии обусловлены влиянием рельефа дна и структурных неоднородностей осадочного чехла, а также фундамента.

Аналогичную структуру имеет тепловое поле прилегающих палеозойских и докембрийских тектонических зон континентов, причем с океана на континент переходят не только одни и те же изолинии

¹ Любимова Е. А. Тепловой поток из недр Земли и его происхождение. — Природа, 1980, № 4, с. 70.



Карта теплового потока Северной Атлантики.

q, но часто сохраняется и направление аномалий.

В пределах всех древних структур выделяются области позднейшей активизации, в частности области молодого вулканизма. Тепловой поток здесь обычно высок, однако малое число измерений не позволяет детально отобразить тепловое поле этих структур.

Полученные данные подтверждают связь величины теплового потока с тектоническим строением Северной Атлантики и возрастом ее структур. Связь эта значительно сложнее, чем та, что следует из модели простого раздвижения литосферных плит. Вероятно, она носит характер периодических затухающих колебаний, а не простой функциональной зависимости от возраста структур.

Доклады АН СССР, 1980, т. 254, № 3, с. 718—722.



Охрана природы

Загрязнение среды ДДТ

Природоохранные органы США обнаружили, что почва и воды в Национальном заповеднике Уилер, Алабама, сильно загрязнены ДДТ и продуктами его распада, в частности ДДЕ — 1,1 дихлоро-2,2-бис(р-хлорофенил-этилен). Источником их оказалось расположенное неподалеку химическое предприятие, прекратившее работу еще 24 года назад. Канава, некогда несшая стоки предприятия, впадает в ручей, протекающий по территории заповедника, где ныне ежегодно зимует до 80 тыс. уток. Количество ДДТ и продуктов его распада, накопившихся в осадках на дне ручья, оценивается примерно в 4 тыс. т. Биохимический анализ показал, что в мускуль-

ной ткани 37 из 50 вскрытых уток-крякв и одичавших кроликов концентрация этих веществ превышает уровень, считающийся предельно допустимым для человека. При сравнении с данными по всей стране установлено, что начиная с 60-х годов содержание ДДЕ в организме водоплавающих птиц из штата Алабама превышает его содержание в тканях птиц любого другого района США.

Из экспериментов, поставленных ранее, выяснено, что ДДЕ, попав в организм утки, продолжает в течение двух последующих лет оказывать влияние на ее репродуктивные свойства. Таким образом, химические вещества, поступившие в организм птицы, зимовавшей в заповеднике Уилер, должны сказываться на ее размножении, которое произойдет много позже и на значительном удалении, например в провинции Онтарио, где она гнездится.

В подтверждение известного эффекта накопления ДДТ в организмах животных по мере движения по пищевой цепи от поедаемых видов к поедающим птицы заповедника Уилер, питающиеся рыбой, ныне переживают особенно заметное падение численности. С конца 40-х годов белоголовый орел, например, не вывел здесь ни одного птенца; прекратилось воспроизведение различных цапель; когда-то бывший здесь многочисленным двугривый баклан теперь встречается редко.

Science, 1980, v. 209, № 4455, p. 509 (США).



Демография

Урбанизация продолжается

Международная конференция «Население и будущее городов», проведенная в сентябре 1980 г. в Риме под эгидой ООН, оценила существующую демографическую статистику и

приняла декларацию, призывающую к своевременной разработке мер для решения экологических, социальных, политических, медицинских и других проблем, возникающих в ходе беспрецедентной урбанизации в истории Земли.

По данным демографов, к началу XIX в. городское население Земли¹ не превышало 3% всей его численности. К 1900 г. горожане составляли уже 13,6%. Ныне в городах живет 1807 млн человек — 41,6% населения планеты. К 2000 г. численность горожан достигнет 3208 млн, что превысит половину всего человечества. Одновременно растет число крупнейших «сверхгородов» — мегалополис с гигантским скоплением людей.

По-видимому, древнейший город на Земле — Иерихон. Он существует уже около 8 тыс. лет, однако сведений о численности его населения в глубокой древности нет. Афинский полис (город-государство) в период своего расцвета насчитывал, вероятно, не более 100 тыс жителей. Население древнего Рима к I в. н. э. составляло 1 млн человек. К 1800 г. такой же цифры достиг Кантон, а вскоре за ним и Лондон. К 1900 г. во всем мире насчитывалось лишь 20 городов, которые вместе с их пригородами можно считать «миллионерами». Сегодня на Земле таких городов 225 и предполагается, что к концу века их будет не менее 414.

К 2000 г., вероятно, 60 городов достигнут 5-миллионного уровня или превысят его. Из них 45 городов находятся в развивающихся странах. Предполагают, что к началу XXI в. Мехико будет насчитывать 32 млн человек, Сан-Паулу (Бразилия) — 26 млн, Калькутта — 20 млн.

Согласно существующей оценке, численность населения столицы СССР к концу века

¹ В соответствии с установленным ООН определением, за город принимается населенный пункт, в котором не менее 20 тыс. жителей.

возрастет, по-видимому, с нынешних 8 до 11 млн.

Урбанизация в развивающихся странах уже контрастирует с уменьшением городского населения в ряде промышленно развитых стран. Так, с 1970 г. в США число лиц, переселяющихся в сельскую местность, превышает число людей, переезжающих в города. Такая же тенденция наблюдается для Парижа, Токио и Осаки.

Все эти изменения происходят на фоне выявившейся в середине 70-х годов тенденции к стабилизации общего роста населения Земли. Однако «нулевой рост» будет достигнут, по-видимому, примерно лишь через 100 лет; тем временем к 2021 г. можно ожидать удвоения нынешней численности человечества.

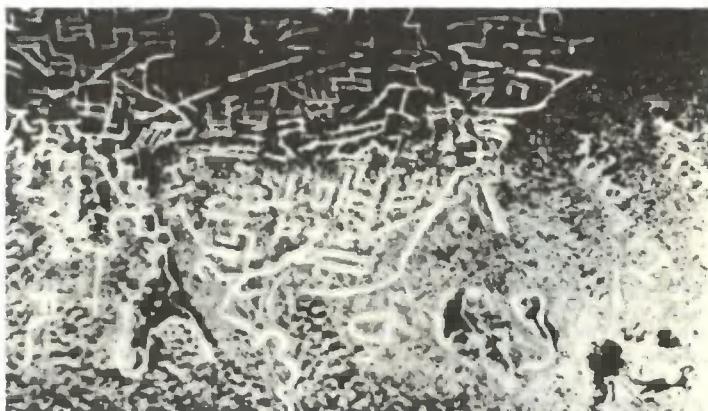
АМВ Ю, 1980, в. IX, № 5, р. 250—251, 253 (Швеция).

Археология

Каналы древних майя

Согласно традиционной точке зрения, индейцы майя в Центральной Америке испокон веков использовали самую примитивную, подсечно-огневую, систему земледелия, которая требовала много свободной земли и частой смены выжигаемых участков в связи с быстрым истощением почвы. Такое земледелие не могло, по мнению специалистов, прокормить сколько-нибудь значительное население, а у древних майя оно, по самым скромным подсчетам, превышало 2 млн человек. Как же тогда появились у них многолюдные и цветущие города, почему они могли существовать непрерывно на одном и том же месте в течение сотен, а то и тысяч лет?

Недавно группа ученых из США сообщила, что ответ, наконец, найден. Как выяснилось, древние обитатели Центральной Америки имели сложную систему водоотводных каналов, которые превратили



Радарное изображение дренажных каналов майя.

местные болота из бросовых участков в высокопродуктивные сельскохозяйственные угодья. Эта система намного опережала по своей производительности подсечно-огневое земледелие традиционного типа. Она позволяла получать в течение длительного времени стабильно высокие урожаи кукурузы, бобов, тыквы и других культур. Суть этой системы состояла в следующем: майя закладывали в болотистых местах ряды параллельно идущих каналов, а между ними из выкопанной земли сооружали ровные приподнятые над поверхностью болот гряды, хорошо обеспеченные водой; излишки влаги выводились каналами за пределы участков.

Это открытие было сделано с помощью космической технологии: радарную установку, созданную для картографирования планеты Венера, вначале решили испытать на Земле для поиска неизвестных поселений древних майя в джунглях Северной Гватемалы. Помещенный на борту самолета радар обнаружил под покровом вечнозеленой растительности густую сеть каких-то пересекающихся линий. Все они так или иначе оказались «привязанными» к болотам, озерам и рекам.

Изучив полученные данные, специалист по культуре майя Р. Адамс (Техасский университет, США) высказал предположение, что это каналы.

Последующие археологические исследования, проведенные им и его коллегами во влажных тропических лесах Северной Гватемалы, полностью подтвердили эту догадку: водоотводные каналы майя находились точно там, где их зафиксировал космический радар.

Несколько лет назад такие же древние каналы были найдены с помощью аэрофотосъемки на юго-западе п-ова Юкатан (штат Кампече, Мексика), где находится бассейн р. Канделария и район древнего города майя Эцна¹.

Таким образом, майя наряду с подсечно-огневым земледелием широко применяли и более интенсивные земледельческие системы. Это во многом объясняет загадку «экономического чуда» одной из наиболее блестящих цивилизаций доколумбовой Америки.

В. И. Гуляев,
доктор исторических наук
Москва

¹ Science, 1976, v. 143, № 4254, p. 639; American Antiquity, 1972, v. 37, № 2, p. 228.

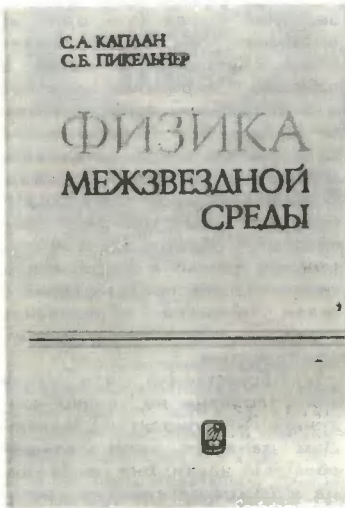
ОПЕЧАТКА

В № 4, с. 24, левая колонка, конец третьего абзаца, по вине типографии допущена опечатка: повторены три строки.

Замечательная книга по астрофизике

Академик Я. Б. Зельдович
Р. А. Сюняев,
доктор физико-математических наук

Москва



С. А. Каплан, С. Б. Пикельнер.
ФИЗИКА МЕЖЗВЕЗДНОЙ СРЕДЫ.
М.: Наука, Главная редакция
физико-математической литературы, 1979, 592 с.

Непрерывный приток новых экспериментальных данных делает физику межзвездной среды одной из наиболее быстро развивающихся и привлекательных областей современной астрофизики. Поэтому с таким интересом и благодарностью мы встретили выход в свет книги С. А. Каплана и С. Б. Пикельнера, в ко-

торой отражены все аспекты этой области исследований — от молекулярной спектроскопии до процессов астрофизики высоких энергий. В физике межзвездной среды используются методы классической астрофизики, спектроскопии, атомной физики, физики плазмы, гидродинамики, статистической физики и т. д. Читая рецензируемую монографию, поражаешься широте интересов ее авторов, еще раз осознаешь значение их личного вклада в исследование межзвездной среды и задумываешься о всем славном пути, который прошла астрофизика за время жизни одного поколения.

Физика межзвездного газа — детище двадцатого века. Лишь в 1904 г. были обнаружены узкие слабые линии поглощения в спектрах звезд, объясненные своим появлением наличием чрезвычайно разреженного вещества в пространстве между звездами. Так проявляют себя атомы и ионы натрия, калия, кальция, железа, титана, а также молекулы CN и CN. Затем по свечению в балмеровских линиях водорода и в запрещенных линиях ионов кислорода, азота и серы был обнаружен ионизованный газ в туманностях, окружающих комплексы молодых горячих звезд.

До второй мировой войны и в первые годы после нее астрофизики и занимались в основном изучением зон достаточно плотного ионизованного межзвездного газа (с плотностью электронов $N_e \approx 10^2 - 10^4 \text{ см}^{-3}$), занимающих ничтожную долю объема Галактики.

Лишь после теоретической работы Ван де Хулста 1944 г., в начале 50-х годов,

сразу в трех странах — Голландии, Австралии и США — начались радиоастрономические наблюдения нейтрального водорода (на длине волны $\lambda = 21 \text{ см}$). Выяснилось, что в плоскости Галактики всюду есть межзвездный нейтральный водород, плотность его в среднем составляет около одного атома в кубическом сантиметре, а температура лежит в интервале от 50 до 10^4 К .

Следующий скачок в понимании свойств межзвездного газа пришелся на 60-е и 70-е годы. Интенсивно развивалась молекулярная радио-спектроскопия: радиоастрономы обнаружили в межзвездном пространстве десятки различных молекул, открыли межзвездные мазеры, работающие на парах воды и гидроксила. Наблюдения показали, что молекулярного газа в Галактике не меньше, чем атомарного. И в основном это молекулы водорода в гигантских по массе и объему облаках газа. В эти годы радиоастрономы начали интенсивное наблюдение зон образования звезд в молекулярных радиолиниях, радиорекомбинационных линиях. Переход электрона в атоме водорода, например, со сто первого на сотый уровень приводит к излучению фотона с длиной волны $\lambda = 4,56 \text{ см}$. Эти фотоны и принимают радиотелескопы.

Значение радиоастрономических методов в исследовании областей образования звезд необычайно велико — ведь звезды рождаются вследствие конденсации газа под действием гравитации в плотных газо-пылевых комплексах. Пыль полностью поглощает оптическое излучение молодых звезд. Наблюдать эти области

можно лишь в радио и инфракрасном диапазонах. Они интенсивно исследуются. Мы видим, как рождаются звезды.

Инфракрасное излучение газо-пылевых комплексов исследуется как в высокогорных обсерваториях, так и методами внеатмосферной астрономии. Внеатмосферные исследования межзвездного газа ведутся в ультрафиолетовом, рентгеновском и гамма-диапазонах. Так, например, ультрафиолетовые и рентгеновские исследования, проведенные на орбитальных обсерваториях, показали, что 70—80% объема межзвездного пространства занято «тоннелями», прорываемыми ударными волнами при взрывах сверхновых звезд и заполненными горячим ($T \approx 10^5 - 10^6$ К) и чрезвычайно разреженным ($N \approx 10^{-2}$ см⁻³) высокоионизованным газом. Его видят, наблюдая мягкое рентгеновское излучение и ультрафиолетовые линии поглощения ионов тяжелых элементов в спектрах горячих звезд.

В межзвездный газ вложено магнитное поле, в межзвездном пространстве присутствуют релятивистские частицы — космические лучи, которые взаимодействуют с газом, ионизуя и подогревая его. При движении релятивистских электронов в межзвездном магнитном поле возникает синхротронное излучение. Этим и объясняется радиоизлучение Галактики в непрерывном спектре.

Авторам книги удалось отразить в ней весь круг перечисленных выше вопросов.

Книга имеет свою особенную трагическую историю. Это четвертая книга авторов на эту тему. Еще в 1958 г. вышла монография С. А. Каплана «Межзвездная газодинамика», а в 1959 г. С. Б. Пикельнер опубликовал свою «физику межзвездной среды». В 1963 г. они (уже совместно) издали фундаментальную монографию «Межзвездная среда». Авторы были молоды (им было по 42 года). Книга казалась написанной на одном дыхании. Физические основы и рассмотренные элементарные процессы были самым тесным образом связаны с астрономическими

применениями, с анализом наблюдаемых явлений, с фактической обстановкой в нашей Галактике и за ее пределами. Как у нас в стране, так и за рубежом книга была признана классической, стала учебником для молодого поколения советских астрофизиков, настольной книгой исследователей. В 1970 г. она была выпущена на английском языке издательством Гарвардского университета.

Со времени издания «Межзвездной среды» прошло почти полтора десятилетия. Возникли новые методы исследования межзвездной среды, шло накопление нового экспериментального материала, его теоретическое осмысление. И авторы решают написать еще одну, совершенно новую книгу, посвященную физике межзвездной среды, происходящим в ней процессам. Авторы начинают работу над рукописью. Но в 1975 г. умирает на операционном столе 53-летний С. Б. Пикельнер. С. А. Каплан продолжал начатое дело. В 1978 г. 57-летний С. А. Каплан, догоняя поезд, сорвался с подножки, попал под колеса и погиб.

Поэтому когда берешь в руки книгу, невольно первая мысль обращается к ее авторам, так рано ушедшим из жизни, к двум замечательным людям и ученым, которые так много сделали в астрофизике и так много могли бы еще сделать.

Рукопись была в черновиках. Нелегкий труд подготовки ее к печати лег на плечи ученика С. Б. Пикельнера Н. Г. Бочкарева. К чести Н. Г. Бочкарева он справился со своей задачей. Ему помогали ученики С. А. Каплана и С. Б. Пикельнера, их друзья, коллеги, имена которых перечисляет в своем теплом предисловии к книге И. С. Шкловский.

Нужно, наверное, сказать несколько слов о структуре книги. Она состоит из шести глав. Вначале дана общая характеристика межзвездной среды. Затем рассматриваются оптические методы ее исследования и радиоспектры межзвездных атомов и моле-

кул. Далее речь идет о синхротронном излучении релятивистских электронов в галактике, плазменных механизмах излучения, а также о методах исследования межзвездной среды, использующих наблюдения пульсаров.

Интерес читателей должен вызвать также самый большой параграф книги, написанный Н. Г. Бочкаревым и посвященный тепловому и ионизационному балансу межзвездной среды. Вслед за этим в книге рассказывается о химии межзвездного газа (эта область привлекает сейчас пристальное внимание специалистов в связи с успехами молекулярной радиоспектроскопии межзвездной среды), об ионизационных фронтах и ударных волнах в межзвездной среде (это одна из любимых тем исследования С. А. Каплана), а также о природе спиральных рукавов и о поведении газа в рукавах.

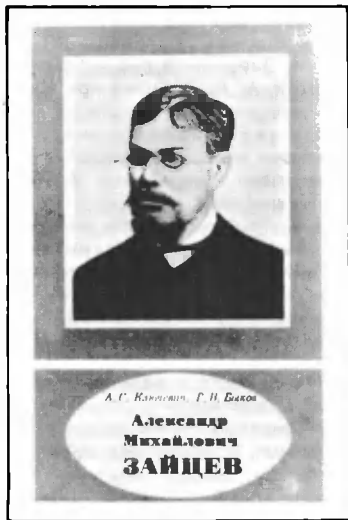
С. Б. Пикельнер и С. А. Каплан много занимались вопросами образования звезд. В заключительной главе рецензируемой книги они дают прекрасный обзор экспериментальных данных и современных теоретических представлений о связи областей образования звезд с газо-молекулярными комплексами.

Естественно, что такая книга полезна не только студентам и аспирантам, желающим заняться интереснейшей областью науки, она необходима и самостоятельному исследователю — в ней много фактического материала, имеется подробная библиография, она отражает результаты и достижения исследований последних лет.

С. Б. Пикельнер и С. А. Каплан были «теоретиками». Но это были теоретики, самым тесным образом связанные с наблюдениями. С. Б. Пикельнер много лет работал в Крымской обсерватории, а С. А. Каплан — в обсерватории Львовского университета. Оба они много сил отдавали преподаванию. Наша астрономия в целом — не только теоретическая, но и наблюдательная — очень многим обязана им.

Выдающийся химик-органик

С. Я. Плоткин,
кандидат технических наук
Москва



А. С. КЛЮЧЕВИЧ, Г. В. БЫКОВ.
АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ
ЗАЙЦЕВ. 1841—1910. Отв. ред.
В. М. Потапов, М.: Наука, Науч.-
биогр. сер., 1980, 173 с.

Член-корреспондент Петербургской Академии наук А. М. Зайцев обогатил химию целым рядом новых органических соединений и стал традицией продолжателем традиций первой русской школы химиков, основанной А. М. Бутлеровым.

Несмотря на несомненный интерес к жизни и творчеству А. М. Зайцева, полной его биографии до последнего времени не было. Книга А. С. Ключевича и Г. В. Быкова восполняет этот пробел. Ее научная ценность — в строгой документальности, широком использовании литературных источников и малоизвестных архивных материалов.

Книга состоит из двух частей: в первой описываются детство, гимназические и университетские годы, формирование будущего ученого (эта

часть написана А. С. Ключевичем); во второй части дается подробный анализ научной деятельности А. М. Зайцева, двух его кандидатских, магистерской и докторской диссертаций, рассказывается о развитии научных идей ученого и о работах его многочисленных учеников (автор этой части — Г. В. Быков).

В главе «Превращение в ученого» повествуется о работе А. М. Зайцева в российских, а также в западноевропейских лабораториях. В Марбурге под руководством Г. Кольбе он выполнил исследование «Диамидосалициловая кислота и некоторые ее соединения с кислотами», одобренное А. М. Бутлеровым, за что был удостоен советом Казанского университета ученой степени кандидата наук. В Париже А. М. Зайцев работал в лаборатории видного французского химика А. Вюрца. А. М. Бутлеров внимательно следил за успехами своего ученика и по возвращении Зайцева в Казань обратился с просьбой оставить его в университете. В книге публикуется полный текст ходатайства А. М. Бутлерова. В нем подчеркивается «значительный научный интерес», который представляли собой зайцевские публикации, и то, что он относится к лицам, успешно занявшим себя в науке (с. 15). «Университет,— писал Бутлеров в другом приводимом в книге предании,— удержит при себе молодого и достойного ученого» (с. 16). А. М. Зайцев был оставлен на кафедре.

В книге содержится богатый фактический материал, позволяющий судить о творческом пути Зайцева и его работе на посту руководителя кафедры химии Казанского университета после переезда А. М. Бутлерова в Петербург. Интересно написаны страницы, рисующие роль Зайцева как воспитателя целой плеяды химиков, многие из которых стали широко известными учеными. В их рассказах А. М. Зайцев предстает человеком гуманным, внимательным и весьма доброжелательным. Обращаясь к А. М. Зайцеву, известный химик Е. Е. Вагнер писал:

«Вы всецело отдавали себя своим ученикам. Вы приобрели в них преданных друзей» (с. 42). По словам ближайшего ученика Зайцева, А. Н. Реформатского, каждому из своих учеников Зайцев «неутомимо разъяснял неясное и непонятное, деликатно напоминал забытые теории, факты или методы» (с. 43). А. М. Зайцев «как магнитом притягивал к себе людей,— вспоминал А. Е. Арбузов.— Он заражал учеников творческой остротой и почти фантастическим трудолюбием» (с. 43).

Зайцев относился к числу прогрессивных ученых. С точки зрения начальства, он был политически неблагонадежным, «нарушителем порядка, возмутителем студентов». А. С. Ключевич обнаружил документы, свидетельствующие о политических настроениях Зайцева. Один из документов связан с именем И. П. Лосева (позже видного советского химика, занимавшего долгое время пост президента Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева). В студенческие годы Лосев за революционную деятельность был арестован. Зайцев выступил в защиту студента и добился для него разрешения сдавать государственные экзамены. Позже Лосев писал: «Ради ученика он не побоялся поставить на карту свое положение в тогдашнем обществе, свой авторитет знаменитого ученого» (с. 45).

Автор раздела о научной деятельности Зайцева Г. В. Быков — известный историк химии. С присущей ему компетентностью он рассматривает состояние научных исследований в период, предшествующий работам Зайцева, уточняет некоторые факты и события из его научной биографии, отмечает ошибочные утверждения ряда авторов. Критическая оценка сложившихся в истории науки мнений, освещение спорных вопросов — одно из достоинств книги.

В книге рассмотрены наиболее важные работы Зайцева, оставившие глубокий след в науке. К ним относятся исследования, связанные с окислами сернистых соедине-

ний, получение первичного бутилового спирта, синтез вторичных и особенно третичных предельных и непредельных спиртов. Сопоставляя работы Зайцева с современными представлениями химии, автор в ряде случаев дает им новую оценку.

Наибольший интерес представляет глава «Цинкорганический синтез соединений ациклического ряда». В ней рассматривается спорный вопрос о приоритете открытия магнийорганического синтеза, приводятся различные точки зрения на роль Зайцева и французского ученого Гриньяра в этом открытии. Этот вопрос долгое время дискутировался в печати; большинство исследователей придерживалось мнения, что именно Зайцев — основной автор нового синтеза. В книге впервые публикуются выдержки из письма А. М. Зайцева А. Н. Реформатскому, в котором выражена позиция самого Зайцева. По

его мнению, можно говорить лишь о «способе Казанской лаборатории, видоизмененном Гриньяром».

Значительное место в книге занимает характеристика работ Зайцева в области химии жиров и жирных кислот. Кропотливые поиски новых материалов привели авторов к уникальной находке — были обнаружены личные дневники Зайцева, содержащие более 200 лабораторных записей (химические анализы жиров, продуктов их переработки и т. п.). Долгие годы Зайцев был тесно связан с жировой промышленностью, в частности с заводом Крестовниковых: там он проводил свои опыты, черпал новые темы для студенческих работ.

К сожалению, следует отметить, что рецензируемая книга не свободна от ошибок и опечаток. Например, Зайцеву неправильно приписано получение *n*-бутилкарбинола (с. 99). На с. 34 местоимение

«его» («и в 1885 г. его действительно избрали» в члены-корреспонденты Академии наук) должно относиться не к Марковникову, как в тексте, а к А. М. Зайцеву. На с. 73 (в примечании) вместо «диэтилсульфоксид» напечатано: «диэтилсульфид». На с. 139 приводится выдержка из некролога М. М. Зайцева, а не А. М. Зайцева. В библиографии трудов А. М. Зайцева пропущена его статья о А. М. Бутлерове в «Библиографическом словаре профессоров и преподавателей Казанского университета» (1904 г.).

Тем не менее книга о А. М. Зайцеве будет читаться с живым интересом. Ценность ее состоит в том, что она не только знакомит с биографией замечательного ученого, но через своего героя знакомит читателя с важными научными событиями, социальной обстановкой того времени и людьми, с которыми общался ученик.

НОВЫЕ КНИГИ

Физика

SYNCHROTRON RADIATION RESEARCH. Ed. Herman Winick and Sebastian Doniach. N. Y. and L.: Plenum Press, 1980, 754 p.
SYNCHROTRON RADIATION. Techniques and Applications. Ed. C. Kunz. Berlin: Springer Verlag, 1979, 442 p.
ИССЛЕДОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ. Под ред. Г. Виника и С. Дониака, Нью-Йорк и Лондон: Пленум Пресс, 1980, 754 с.
СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ. МЕТОДЫ И ПРИЛОЖЕНИЯ. Под ред. К. Кунца. Берлин: Шпрингер, 1979, 442 с.

В этих двух книгах подытожено развитие многообразных применений синхротронного излучения, причем если в первой книге обобщен, главным образом, американский опыт и ее редакторами являются руководители Лаборатории синхротронного излучения Стенфордского университета,

то вторая книга¹, вышедшая несколько раньше, в гораздо большей мере обобщает опыт европейских ученых: ее редактор Кристофер Кунц долгие годы работал с синхротронным излучением на установках ДЕЗИ, будучи сотрудником II Физического института при Гамбургском университете.

Книга, вышедшая под редакцией К. Кунца, открывается главой о свойствах синхротронного излучения, вторая глава посвящена его источникам, обширная и очень информативная третья глава — приборам, четвертая — теоретическим аспектам спектроскопии внутри атомных переходов, пятая — атомной спектро-

скопии, шестая — молекулярной спектроскопии, седьмая — спектроскопии твердых тел. Все разделы книги снабжены подробными библиографическими списками, в целом охватывающими более 2000 статей. В известной мере книга Г. Виника и С. Дониака повторяет приведенный план, но состоит из 22 глав. Особую ценность представляет детальная библиография, охватывающая более 3000 статей, опубликованных за последние 5—10 лет.

Чтобы правильно оценить место этих книг, следует обратить внимание на то, что они написаны перед вводом в строй первого поколения мощных специализированных источников синхротронного излучения: первая такая установка SRS в Дарсбери — накопительное кольцо на 2 Гэв — была введена в строй осенью 1980 г.; летом 1981 г. аналогичная, но еще более мощная машина

¹ В ближайшее время эта книга выходит в русском переводе в издательстве «Мир».

должна быть запущена в Брукхевене (США). Ввод в строй этих источников откроет новые возможности для опытов и потребует выхода на новый уровень организации этих исследований. Поэтому сейчас особенно важно подвести итог исследований с помощью синхротронного излучения, без чего невозможно совершить следующий шаг.

Опыт показывает, что оснащение всей «инфраструктуры», необходимой для работы с синхротронным излучением, потребует, наверное, еще больших материальных и интеллектуальных затрат, чем создание самих источников синхротронного излучения, где по существу используется уже освоенный и пройденный этап развития накопителей электронов, применяемых в физике высоких энергий.

Но как опыт работы на существующих машинах, так и разумный прогноз, который может быть сделан на основании рекомендуемых здесь обзоров, указывают на то, что прогресс будет определяться расширением областей применения синхротронного излучения. В заключение заметим, что пока нет значительных прикладных применений синхротронного излучения. Возможно, что первой станет микроэлектроника (для заинтересованных в этой области лиц особый интерес представляет седьмая глава первой книги — «Микролитография с помощью мягких рентгеновских лучей»). Другие применения, например в медицине и топографии, еще ждут своих разработчиков, которые также найдут много полезного в этих книгах.

Профессор С. П. Капица
Москва

Астрофизика

Э. Я. Вильковский. ЗАГАДКИ КВАЗАРОВ. Отв. ред. Т. Б. Омаров. Алма-Ата: Наука, КазССР, 1980, 128 с., ц. 15 к.

Развитие радиоастрономических наблюдений привело астрономов к выводу, что галактики не являются только

роями звезд: в центрах многих из них происходят бурные взрывоподобные явления, сопровождающиеся огромным выделением энергии. Так были открыты квазары (квазизвездные источники радиоизлучения) — самые мощные и отдаленные объекты Вселенной. Автор популярно излагает историю открытия квазаров, их основные свойства, место во Вселенной.

Хотя с того момента, как было зарегистрировано мощное радиоизлучение от квазаров (1961), прошло 20 лет, еще не создана физическая модель, описывающая все свойства этих необычных объектов. До сих пор не получила объяснение активность галактических ядер, с которыми в последнее время связывают квазары. Среди приведенных автором моделей особенно интересно описание квазара как сверхзвезды, находящейся в сильном магнитном поле (так называемый магнитоид), или же «черной дыры» в центре активных объектов. Таким образом, вопрос о природе квазаров тесно связан с такими основными вопросами астрофизики, как происхождение и финал эволюции звезд, первые секунды зарождения Вселенной. Обо всем этом интересно и в доступной форме и рассказывается в книге.

Математика

В. Гильде, З. Альтрихтер. С МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРОМ В РУКАХ. Пер. с нем. Ю. А. Данилова. М.: Мир, 1980. 222 с., ц. 50 к.

Карманные ЭВМ — микрокалькуляторы — прочно вошли в нашу жизнь, заслужив репутацию незаменимых помощников каждого, кому приходится заниматься теми или иными расчетами. Однако не следует думать, что решение задач с их помощью сводится лишь к нажиманию клавиш. Микрокалькуляторы, как и любые другие вычислительные устройства, имея свою специфику, требуют особых методов и приемов счета. Поэтому обычно к микрокалькулятору прилагается краткое руководство

или даже маленькая библиотечка программ для решения набора стандартных задач.

В книге В. Гильде и З. Альтрихтера на многочисленных примерах показано, что при помощи карманных ЭВМ можно справиться с разнообразными по трудности и содержанию задачами. Эти задачи выбраны и изложены таким образом, чтобы читатель, извлекая полезные сведения, не чувствовал себя так, будто он «прорабатывает» учебное пособие. Как определить высоту Джомолунгмы и сколько лет потребуется человечеству для того, чтобы сыграть все варианты популярной карточной игры, как вычислить кратчайшее расстояние между двумя пунктами земного шара и как извлекать корни произвольной степени — вот лишь несколько примеров из того множества увлекательных задач, которые приведены в книге. Несомненно, она будет очень полезна для приобретения навыков в обращении с микрокалькуляторами.

Психология

В. Канел, Д. Слуцкер, Л. Шафран. АДАПТАЦИЯ ЧЕЛОВЕКА В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ СРЕДЫ. Рига: Звайгзне, 1980, 184 с., ц. 1 р. 30 к.

Проблема адаптации — одна из актуальных medico-биологических проблем современности. Высокие функциональные нагрузки на организм в условиях современного производства, активный ритм жизни, интенсивная миграция населения в новые природные зоны вызывают напряжение адаптационных механизмов и должны учитываться при планировании и организации общесанитарных, профилактических и лечебных мероприятий в системе здравоохранения, на производстве и в быту.

На примере некоторых экипажей судов торгового и рыболовецкого флотов авторами изучены проявления и механизмы адаптационных процессов в организме; определено значение шумовибрационных и химических факторов, произ-

водственного микроклимата, понижения или повышения температуры снаружи и в помещении, токсических воздействий малой интенсивности. В книге представлен также обзор отечественных и зарубежных исследований, связанных с изучением различных сторон рассматриваемой проблемы.

Книга предназначена биологам широкого профиля, врачам, психологам, организаторам здравоохранения.

География

Анджей Ягельский. ГЕОГРАФИЯ НАСЕЛЕНИЯ. Сокр. пер. с польск. В. Ф. Худолева. Под ред. и с послесл. Ю. Л. Пивоварова. М.: Прогресс. 1980, 384 с., ц. 1 р. 60 к.

Книга не является попыткой современного фактографического описания и обобщения. Это систематизированное изложение важнейших методологических и теоретических основ географии населения. В наше время география населения — одна из наиболее бурно развивающихся (как в Польше, так и в СССР и других странах) отраслей географического знания, занимающая важное положение, во-первых, на стыке с рядом других наук (экономикой, демографией, этнографией, социологией, медициной и др.) и, во-вторых, внутри системы географических дисциплин. Авторитет географии населения с каждым годом возрастает — как за счет ее реальной практической значимости, так и за счет того, что она традиционно является плацдармом для выдвижения, апро-

бирования и усвоения новых методов и подходов, имеющих подчас общегеографический резонанс. В книге А. Ягельского акцент делается на методах анализа и понятиях, связанных с пространственной структурой населения, естественным движением и миграциями населения, а также с проблемами типологии и районирования в географии населения. В нужных местах изложение материала дополняется картографическими или расчетными примерами-иллюстрациями. Немалый интерес представляет и обширная библиография.

География

Н. Н. Баранский. ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ. Становление советской экономической географии. М.: Мысль, 1980, 288 с., ц. 2 р. 10 к.

В июле 1981 г. исполняется 100 лет со дня рождения выдающегося советского экономико-географа и организатора географической науки, члена-корреспондента АН СССР Николая Николаевича Баранского (1881—1963). К юбилею Н. Н. Баранского и приурочен выход этой книги. В ней публикуются статьи: «Краткий очерк развития экономической географии», «Константин Иванович Арсеньев (1789—1865)», «Учет природной среды в экономической географии», «Географическое разделение труда», «Экономико-географическое положение», «О связи явлений в экономической географии», «География отраслей хозяйства», «География населения», «Об экономико-географическом изучении

городов», «О методике лекций по районному курсу экономической географии СССР», «Моя жизнь в экономической географии» (отрывок из воспоминаний). Сборник открывается обстоятельным введением, рассказывающим о жизни и деятельности Н. Н. Баранского (автор — Ю. Г. Саушкин), и сопровождается комментариями (автор — В. А. Анучин). Переиздание трудов Н. Н. Баранского — не только дань уважения к его памяти: многие высказанные в его статьях мысли не утратили актуальности и в наши дни.

Экология. Экономика

А. И. Тарасов. ЭКОНОМИКА РЕКРЕАЦИОННОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ. Отв. ред. В. М. Крижовцев. М.: Наука, сер. «Проблемы советской экономики». 1980, 136 с., ц. 90 к.

Автор обсуждает возможность такой организации рекреационного хозяйства, которая помогла бы не только удовлетворить растущие общественные потребности в лесном отдыхе, но и обеспечить сохранность леса. В трех главах книги рассматриваются соответственно понятие рекреационного лесопользования и методы количественных и качественных оценок его последствий, социологические предпосылки экономического анализа этого явления и издержки как посетителей леса, так и лесных хозяйств.

Книга рассчитана на экономистов, социологов и работников лесного хозяйства.

Художник П. Г. АБЕЛИН
Художественные редакторы:
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

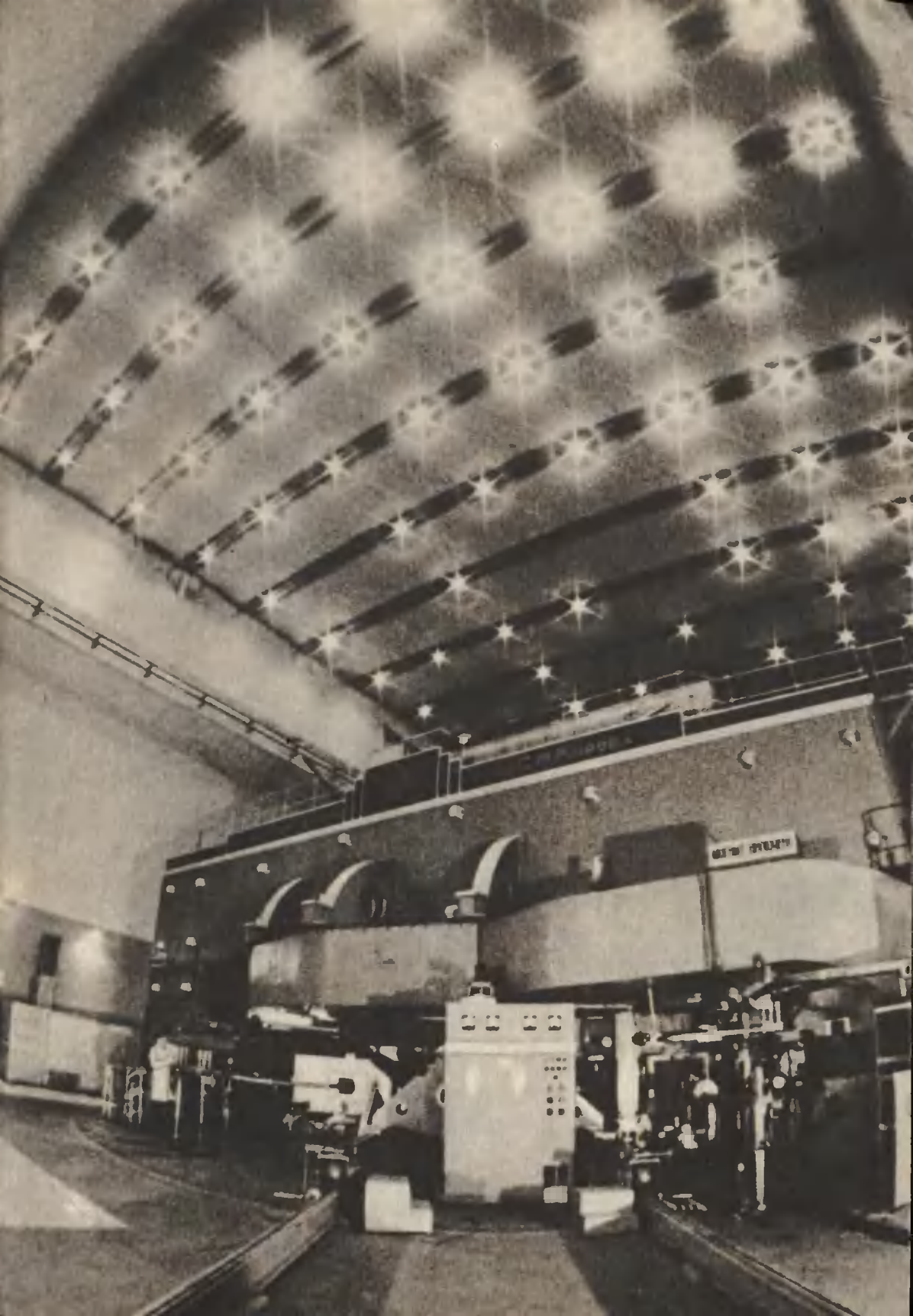
Корректоры:
Т. Д. МИРЛИС, М. Б. РЫБИНА

Адрес редакции:
Москва, ГСП-1
Мароновский пер., 26.
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 5.03.81.
Подписано к печати 17.04.81.
Т-09005.
Формат бумаги 70×100 1/16.
Офсет.
Усл.-печ. л. 10,4. Уч.-изд. л. 15,3.

Бум. л. 4.
Тираж 82 000 экз. Зак. 595.

Чеховский полиграфический комбинат Союзполиграфпрома Государственного комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. г. Чехов, Московской области.



Цена 50 коп.
Индекс 70707

