

ISSN 0032—874X

ПРИРОДА

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПОПУЛЯРНЫЙ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ АКАДЕМИИ НАУК СССР

НУЖНЫ ЛИ
КАСПИЮ
воды северных
рек ?

МАРТ

3

1987

март
1987

ПРИРОДА

Основан
в 1912 году

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПОПУЛЯРНЫЙ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ АКАДЕМИИ НАУК СССР

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор академик Н. Г. БАСОВ	Доктор философских наук Н. В. МАРКОВ
Кандидат физико-математических наук А. И. АНТИПОВ	Ответственный секретарь В. М. ПОЛЫНИН
Доктор физико-математических наук Е. В. АРТЮШКОВ	Доктор исторических наук П. И. ПУЧКОВ
Член-корреспондент АН СССР Р. Г. БУТЕНКО	Заместитель главного редактора академик Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ
Доктор географических наук А. А. ВЕЛИЧКО	Доктор философских наук Ю. В. САЧКОВ
Академик В. А. ГОВЫРИН	Заместитель главного редактора доктор биологических наук А. К. СКВОРЦОВ
Член-корреспондент АН СССР И. Р. ГРИГУЛЕВИЧ	Академик АН УССР А. А. СОЗИНОВ
Заместитель главного редактора Ю. Н. ЕЛДЫШЕВ	Академик В. Е. СОКОЛОВ
Член-корреспондент АН СССР Г. А. ЗАВАРЗИН	Доктор геолого-минералогических наук М. А. ФАВОРСКАЯ
Член-корреспондент АН СССР В. Т. ИВАНОВ	Заместитель главного редактора кандидат технических наук А. С. ФЕДОРОВ
Доктор физико-математических наук Н. П. КАЛАШНИКОВ	Заместитель главного редактора член-корреспондент АН СССР Л. П. ФЕОКТИСТОВ
Доктор физико-математических наук С. П. КАПИЦА	Член-корреспондент АН СССР В. Е. ХАИН
Доктор физико-математических наук И. Ю. КОБЗАРЕВ	Доктор физико-математических наук А. М. ЧЕРЕПАЩУК
Кандидат физико-математических наук А. А. КОМАР	Доктор физико-математических наук В. А. ЧУЯНОВ
Академик Н. К. КОЧЕТКОВ	
Доктор геолого-минералогических наук И. Н. КРЫЛОВ	



— 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.



© Москва «Наука»
Природа 1987

На первой и четвертой страницах обложки. Каспий у берегов Туркмении. См. в номере: Каспий: прошлое, настоящее, будущее...

Фото А. А. Морковкина

В номере:

3 Черепашук А. М. Двойные звезды и релятивистская астрофизика

Принципиальная важность исследования двойных звезд состоит прежде всего в том, что, изучая их движение, астрономам удается проверять теоретические предсказания релятивистской астрофизики.

15 Михайлов А. С. Физики задумываются над механизмом работы мозга

Развитие компьютерной техники выдвигает задачу создания молекулярных вычислительных устройств. В них могли бы быть использованы некоторые из принципов, свойственных работе мозга.

27 Матвеев Ю. И. Усадьба Лобачевского Слободка (штрихи к портрету ученого)

Факты, связанные с жизнью Н. И. Лобачевского в его усадьбе Слободка, по-новому освещают некоторые страницы жизни великого русского математика.

КРАСНАЯ КНИГА

34 Сигида С. И. Кавказская жужелица

Для этого крупного и красивого жука, полезного в лесном и сельском хозяйстве, никакие охраняемые меры пока не разработаны, вид только внесен в Красные книги.

36 Владимиров Ю. А. Биологические мембраны и патология клетки

Состояние любого организма зависит от состояния составляющих его клеток, а нормальная работа клеток определяется, в первую очередь, состоянием клеточных мембран. Найти причины повреждения клеточных мембран — значит наметить пути предотвращения гибели клеток.

49 Федяков В. В., Наумов А. Д. Двустворчатые моллюски Арктики

Как заселялся донными животными Северный Ледовитый океан? Общую схему становления арктической фауны, вероятно, можно проследить на примере двустворчатых моллюсков.

58 КАСПИЙ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ

Величко А. А., Климанов В. А., Беляев А. В. Каспий и Волга 5,5 и 125 тысяч лет назад

В эти эпохи климат Восточной Европы был таким, каким может стать в будущем при повышении глобальной температуры на 1° и 2°C. Палеоклиматические реконструкции и сделанные на их основе расчеты показывают, что уровень Каспия в те времена был выше современного.

66 Голицын Г. С. Нужна ли переброска воды в Каспий?

За последние годы Каспийское море накопило 450 км³ воды. Намечавшаяся переброска могла бы дать такой объем за 80 лет. А чтобы с какой-то уверенностью оценить пользу этого мероприятия, пришлось бы ждать еще не одно десятилетие.

73 Уголев А. М. Теория адекватного питания

Анализ общих закономерностей ассимиляции пищи приводит к выводу, что современные представления о питании и созданные на их основе пищевые технологии и рационы необходимо пересмотреть.

77 Симонов П. В., Ершов П. М. Что же такое душа?

Ни сумма знаний, которыми располагает человек, ни его мышление, ни сознание не исчерпывают понятия о душе — «мыслящем сердце», как определял ее Гегель.

ЗАМЕТКИ И НАБЛЮДЕНИЯ

97

Карцев В. М., Филимонов П. М.
Каннибализм у насекомых. Мошков Е. А. Осенняя песня птиц (99)

диалог с читателем

101

Возможна ли адаптация к мутантам?

новости науки

103

Понимание детьми логической необходимости (26) • Магнитное поле Урана «переезжает»? (103) • Существуют ли вулканы на Венере (103) • Антипротоны в составе космических лучей (104) • Радионтерферометрический эксперимент в космосе (104) • Луна — источник ³He для термоядерной энергетики (105) • Заряженные «нейтрино» и «сверхтяжелые» электроны в полупроводниках (106) • Суперчипы (107) • Молекулярные провода (107) • Клеточная фабрика белков (108) • РНК контролирует старение клеток (108) • Активированные лимфоциты против опухолей (109) • Белок T4 — рецептор для вируса СПИД (109) • Генная инженерия в защите растений (109) • Механизм слияния биологических мембран (110) • Гамма-лучи против мутаций (110) • Мутация — причина гемофилии В (111) • Фактор метастазирования (111) • Достижения биологии — косметике (111) • Наследственность, среда и темперамент (112) • Пустынные лягушки (112) • Прямое доказательство адаптивности морфологического признака (113) • Ящерицы и хищники (113) • Запах

змея против змей (114) • Численность белого аиста сокращается (114) • Загрязнение реки Гудзон (114) • Древнейший прозавропод (115) • Крупные месторождения золота и алмазов (115) • 109-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн» (116) • «Черные курильщики» открыты в окраинных морях (117) • Гипотетический палеоокеан в Западной Сибири (117) • Вулканический пепел и зоны рудообразования (118) • Землетрясение меняет состав лавы (119) • Мехико угрожают новые землетрясения (119)

РЕЦЕНЗИИ

120

Крылов И. Н. Важнейший биостратиграфический рубеж (на кн.: Розанов А. Ю. Что произошло 600 миллионов лет назад)

НОВЫЕ КНИГИ

123

Пасецкий В. М. Фритьоф Нансен. 1861—1930 (33) • Фейгенберг И. М. Видеть — предвидеть — действовать. Психологические этюды (96) • Белокуров В. В., Ширков Д. В. Теория взаимодействия частиц (123) • Зорькин Л. М., Суббота М. И., Стадник Е. В. Метан в нашей жизни (123) • Верещагин Н. К. Зоологические путешествия (124) • Шевелов И. Ш. Принцип пропорции: о формообразовании в природе, мерной трости древнего зодчего, архитектурном образе, двойном квадрате и взаимопроникающих подобиях (124)

125

ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ

Баландин Р. К. Ответ личности

Научные редакторы:
И. Н. АРУТЮНЯН,
О. О. АСТАХОВА,
Л. П. БЕЛЯНОВА,
А. В. ДЕГТЯРЕВ,
М. Ю. ЗУБРЕВА,
Г. В. КОРОТКЕВИЧ,
В. В. МАЙКОВ,
Л. Д. МАЙОРОВА,
Н. Д. МОРОЗОВА,
Н. В. УСПЕНСКАЯ

Литературные редакторы:
Н. Б. ГОРЕЛОВА,
И. В. ДМИТРИЕВА,
Г. И. ПАНКОВА

Художник
С. И. МИРОНЕНКО

Художественные редакторы:
Л. М. БОЯРСКАЯ,
Д. И. СКЛЯР

Зав. редакцией
О. В. ВОЛОШИНА

В номере использованы
фотографии:
М. А. БАКРАДЗЕ,
В. М. КАРЦЕВА,
Б. А. КУВШИНОВА,
Е. Г. ЛЮБИНСКОГО,
Б. К. МАШКОВА,
А. Д. НАУМОВА,
С. И. СИГИДЫ,
В. В. ФЕДЯКОВА,
П. М. ФИЛИМОНОВА

В художественном оформлении
номера принимали участие:
Е. К. ТЕНЧУРИНА,
В. С. КРЫЛОВА,
Л. А. УРМАЕВА

Корректоры:
О. Н. БОГАЧЕВА,
Т. Д. МИРЛИС

Адрес редакции:
117049, Москва, ГСП-1,
Мароновский пер., 26.
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 8.1.87
Подписано к печати 20.02.87
Т—08906
Формат 70×100 1/16
Офсет
Усл.-печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 1472,4 тыс.
Уч.-изд. л. 15,2
Бум. л. 4
Тираж 55 000 экз.
Зак. 92

Ордена Трудового
Красного Знамени

Чеховский полиграфический
комбинат
ВО «Союзполиграфпром»
Государственного
комитета СССР
по делам издательства,
полиграфии
и книжной торговли.
142300 г. Чехов
Московской области

К 70-ЛЕТИЮ ВЕЛИКОГО ОКТЯБРЯ

ДВОЙНЫЕ ЗВЕЗДЫ И РЕЛЯТИВИСТСКАЯ АСТРОФИЗИКА

А.М.Черепашук

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ астрофизика — молодая и бурно развивающаяся область современной астрономии. Она изучает релятивистские эффекты в мире небесных тел, т. е. эффекты, связанные либо с очень большими скоростями (близкими к скорости света), либо с очень сильными гравитационными полями. Теоретический фундамент релятивистской астрофизики составляют специальная и общая теория относительности А. Эйнштейна. Как отметил Я. Б. Зельдович, Вселенная представляет собой ту естественную лабораторию, в которой эффекты общей теории относительности (ОТО), весьма малые по своим проявлениям на Земле, превращаются в могучий фактор, определяющий судьбу звезд, галактик, да и всей Вселенной. Объекты исследования релятивистской астрофизики крайне необычны: это нейтронные звезды, гипотетические черные дыры, гравитационные волны, Вселенная в целом, включая наиболее ранние, сверхплотные и сверхгорячие стадии ее развития.

Наблюдательный базис релятивистская астрофизика получила в 1963 г., когда были обнаружены квазары — космологические объекты со столь мощным выделением энергии, что объяснить его можно было лишь процессами падения (аккреции) вещества на сверхмассивный компактный объект, возможно черную дыру. Затем, в 1965 г., было открыто реликтовое трехградусное излучение — «свидетель» ранних стадий развития горячей Вселенной. Вскоре, в 1967 г., мы узнали о пульсарах — быстровращающихся нейтронных звездах, которые образуются при взрывах массивных звезд в конце их эволюции. И, наконец, с 1971 г. началась эра рентгеновской астрономии: последовали открытия рентгеновских двойных систем, представляющих собой нейтронные звезды, а в ряде случаев, по-видимому, и черные дыры в паре с обычными звездами типа Солнца. Вообще же двойной называют систему из двух звезд, обращающихся под действием взаимного гравитационного притяжения по орбитам конечных размеров.

Двадцать лет развития релятивистской астрофизики выявили важную роль двойных звезд для решения



Анатолий Михайлович Черепашук, доктор физико-математических наук, профессор, исполняет обязанности директора Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга. Научные интересы — физика тесных двойных звезд, обратные задачи астрофизики. Автор ряда монографий, в том числе: Численные методы решения обратных задач астрофизики. М., 1978; Некорректные задачи астрофизики (совместно с А. В. Гончарским и А. Г. Яголой). М., 1985. Лауреат премии Ленинского комсомола. Член редколлегии журнала «Природа».

многих задач, стоящих перед этой наукой. Дело в том, что с помощью различных методов в таких двойных системах можно наблюдать движение звезд под действием их взаимного притяжения. Изучая это движение, астрономам удастся определять физические характеристики звезд, а также проверять теоретические предсказания релятивистской астрофизики. Именно в этом прежде всего и состоит принципиальная важность исследования двойных звезд.

Надо сказать, что впервые на этот аспект проблемы обратили внимание в 1966 г. Я. Б. Зельдович и О. Х. Гусейнов, показав в своих исследованиях, что невидимый в оптическом диапазоне релятивистский объект (нейтронная звезда или черная дыра) своим статическим гравитационным полем определяет движение соседней оптической звезды в двойной системе. Поэтому, изучая движение оптической звезды, можно определить массу релятивистского объекта. Подчеркнем, что никаким иным способом этого сделать нельзя. В том же 1966 г. Я. Б. Зельдович и И. Д. Новиков высказали предположение, согласно которому оптическая звезда, находящаяся в паре с релятивистским объектом, может служить источником вещества, аккреция которого на релятивистский объект должна приводить к мощному выделению энергии в рентгеновском диапазоне спектра; в результате появляется возможность непосредственно наблюдать релятивистские объекты. Именно такие процессы происходят в упомянутых выше рентгеновских двойных системах.

Дальнейшие наблюдательные и теоретические исследования блестяще подтвердили эти предсказания, и двойные звезды в самом деле сослужили важную службу релятивистской астрофизике. Впрочем, и релятивистская астрофизика, со своей стороны, сильно стимулировала развитие теории двойных звезд и методов их исследований.

КАК ИЗУЧАЮТ ДВОЙНЫЕ ЗВЕЗДЫ

Двойные звезды делятся на визуально-двойные, спектрально-двойные и затменно-двойные.

В телескоп обе звезды визуально-двойной системы видны раздельно. Изучая перемещения каждой из них и применяя законы Кеплера, можно определить массы этих звезд. В двойных системах второго и третьего типа обе звезды даже в крупнейших телескопах видны как одиночные

звездочки, поскольку угловое расстояние между компонентами системы чрезвычайно мало.

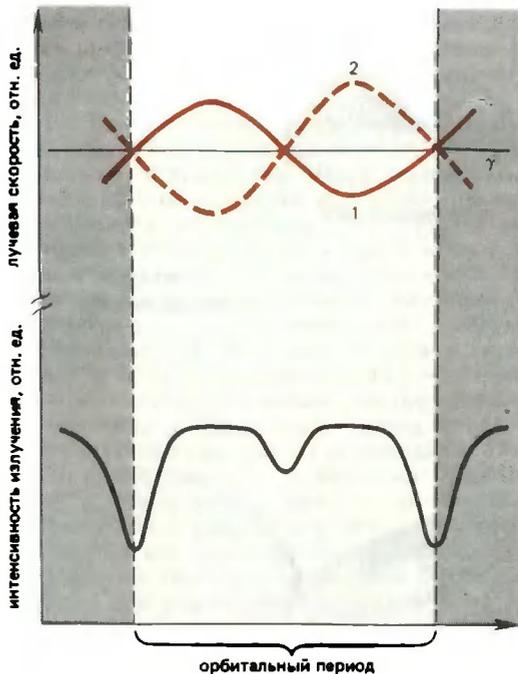
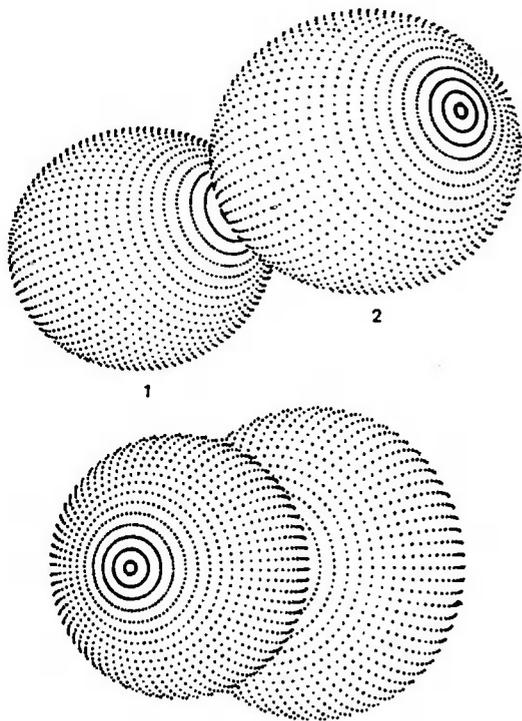
Спектрально-двойные звезды проявляют себя периодическими доплеровскими смещениями линий в суммарном спектре системы, что вызвано орбитальным движением звезд. Изменяя положение линий в спектрах таких звезд, можно, пользуясь формулой Доплера, связывающей смещение линии с проекцией скорости движения звезды на луч зрения, построить зависимость скорости звезды от времени (так называемую кривую лучевых скоростей). По амплитуде, периоду и форме кривых лучевых скоростей каждой из звезд двойной системы астрофизики определяют массы звезд и абсолютные размеры их орбит (с точностью до наклона орбиты i — угла между лучом зрения и нормалью к плоскости орбиты), а также эксцентриситет и долготы периастров¹ орбит, которые характеризуют форму и ориентацию орбиты.

И, наконец, третий тип — затменно-двойные звезды; в них происходят периодически повторяющиеся затмения звезд, проявляющиеся как ослабление освещенности (блеска) двойной системы. Двойная система может быть затменной лишь в том случае, если наклон ее орбиты i незначительно отличается от 90° . Одновременно такая система может быть и спектрально-двойной. Анализируя кривую блеска затменной двойной звезды, можно определить радиусы обеих звезд, наклон орбиты системы, ее эксцентриситет, долготу периастра, отношение светимостей компонентов и т. д.

Таким образом, если двойная система состоит из двух «нормальных» звезд и наблюдается как спектрально- и затменно-двойная, анализ наблюдательных данных позволяет установить массы звезд и их радиусы, выраженные в абсолютных единицах. Поскольку масса и радиус характеризуют стадию эволюции звезды, то результаты анализа спектральных и фотометрических наблюдений затменных двойных систем имеют фундаментальное значение для проверки современных представлений о внутреннем строении звезд и их эволюции.

Особое место среди двойных звезд занимают так называемые тесные двойные, в которых на некотором этапе эволюции вещество от одной звезды полностью пе-

¹ Периастром орбиты звезды в двойной системе называют ближайшую к центру масс точку орбиты.



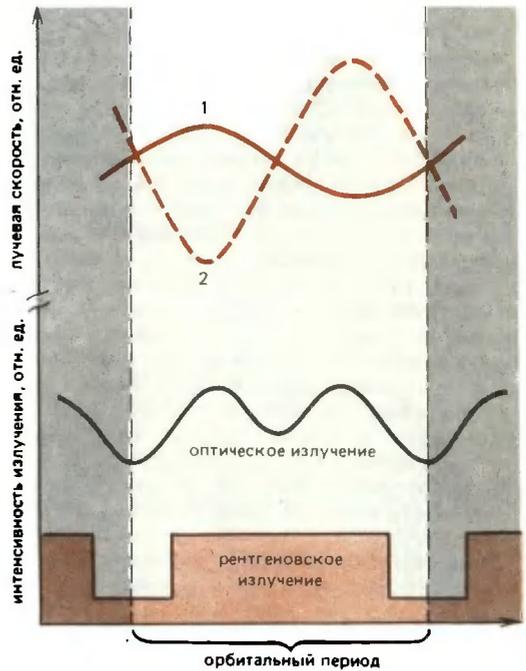
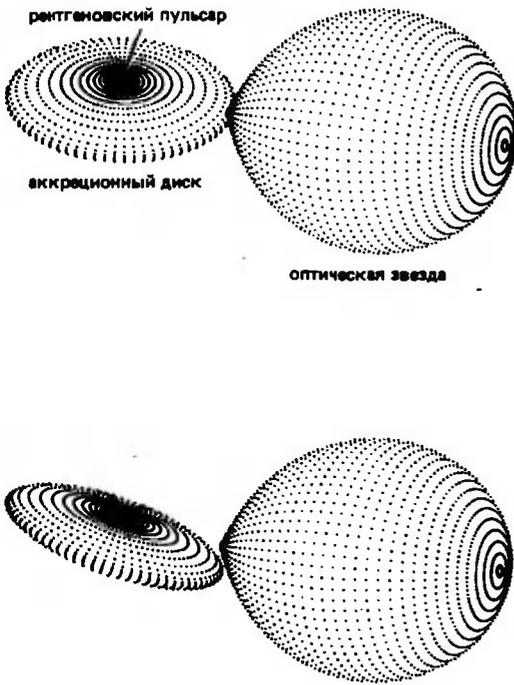
Построенная с помощью ЭВМ модель классической тесной двойной затменной системы, состоящей из двух «нормальных» звезд 1 и 2: показаны разные фазы орбитального периода (слева). Определенные из наблюдений кривая блеска и кривые лучевых скоростей компонентов 1 и 2 (справа). Анализ этих кривых позволяет установить массы, радиусы звезд и параметры их орбит: γ — лучевая скорость центра масс двойной системы.

ретекает к другой. Исследование тесных двойных систем позволяет не только определить физические характеристики звезд, но и понять, например, когда, как и почему в таких системах образуются звезды самых различных типов, в том числе и релятивистские объекты — нейтронные звезды и черные дыры.

Чрезвычайно актуальной оказалась задача, поставленная Я. Б. Зельдовичем: построить теорию физических процессов, происходящих в тесной двойной системе при перетекании вещества от одной звезды к другой. В середине 70-х годов эта задача была решена; завершила ее ныне общепризнанная теория дисковой аккреции вещества на нейтронные звезды и черные дыры. Суть ее состоит в следующем. При перетекании вещества оптической звезды на релятивистский объект вокруг последнего образуется плоская тонкая вра-

щающаяся газовая оболочка — аккреционный диск. Взаимное трение различных частей диска приводит к потере ими углового момента и падению вещества на релятивистский объект. Из-за огромного гравитационного потенциала вблизи релятивистского объекта скорость движения вещества здесь близка к скорости света, и взаимное трение внутренних частей диска разогревает плазму до температур в десятки и сотни миллионов градусов. Поэтому внутренние части диска становятся источником мощного (10^{36} — 10^{38} эрг/с) рентгеновского излучения.

К настоящему времени, благодаря запуску специализированных рентгеновских спутников, таких, например, как «Ухуру» и «Эйнштейн», открыты многие сотни рентгеновских двойных систем, состоящих из «нормальной» оптической звезды и релятивистского объекта. В частности, в двой-



Модель рентгеновской двойной системы с прецессирующим аккреционным диском вокруг релятивистского объекта; показаны разные фазы прецессии диска (слева). Определяемые из наблюдений рентгеновская и оптическая кривые блеска системы и кривые лучевых скоростей [1 — для оптической звезды, 2 — для рентгеновского пульсара]. По этим кривым находят массы оптической и релятивистской звезд и параметры орбиты двойной системы.

ных системах обнаружено несколько десятков рентгеновских пульсаров — источников, светимость которых меняется строго периодически, с периодами от долей секунд до десятков минут. Их мощное пульсирующее рентгеновское излучение возникает при падении вещества с оптической звезды на вращающуюся нейтронную звезду, обладающую сильным магнитным полем около 10^{12} Гс; магнитное поле релятивистского объекта направляет вещество из внутренних частей аккреционного диска к своим магнитным полюсам, на них образуются горячие пятна, которые излучают в рентгеновском диапазоне. В сочетании с быстрым осевым вращением, когда ось вращения нейтронной звезды не совпадает с осью магнитного диполя, рентгеновское излучение приводит к эффекту маяка: горячие пятна на магнитных полюсах то видны для наблюдателя, то экранируются телом нейтронной звезды. Поэтому рентгенов-

ское излучение пульсирует с периодом вращения нейтронной звезды.

В двойных рентгеновских системах открыто много источников, не обладающих строго периодической переменностью рентгеновского излучения пульсарного типа. Некоторые из них могут быть кандидатами в черные дыры.

Если угол наклона орбиты системы близок к 90° , в ней наблюдаются затмения рентгеновского источника оптической звездой. Комбинируя рентгеновские и оптические наблюдения такой системы, можно определить ее параметры, и прежде всего массы оптической и релятивистской звезд². В этом состоит главная и неоченимая

² О методах определения масс релятивистских объектов из наблюдений рентгеновских двойных систем см.: Гончарский А. В., Черепашук А. М., Ягола А. Г. Некорректные задачи в современной астрофизике // Природа. 1985. № 9. С. 3—16.

услуга, которую оказывают двойные звезды релятивистской астрофизике. По существу, других методов точного определения масс нейтронных звезд и черных дыр, не связанных с изучением двойных систем, нет.

МАССЫ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД

Пожалуй, наиболее ярко мощь аппарата исследований двойных систем проявилась при определении масс нейтронных звезд.

Существование таких космических объектов было теоретически предсказано Л. Д. Ландау в 1932 г. Нейтронная звезда массой в одну солнечную (M_{\odot}) должна иметь радиус около 10—20 км и среднюю плотность 10^{14} — 10^{15} г/см³, т. е. достигающую миллиарда тонн в кубическом сантиметре. При столь чудовищно большой плотности энергия движения и взаимодействия частиц много больше их энергии покоя; электроны как бы «вдавливаются» в протоны, и вещество переходит в нейтронное состояние. Давление такого вырожденного нейтронного вещества противостоит силам гравитации, удерживая звезду от неограниченного сжатия. Из-за огромного гравитационного потенциала нейтронной звезды размеры ее атмосферы, состоящей из ядер и вырожденных электронов, малы по сравнению с радиусом звезды, поэтому можно считать, что нейтронная звезда обладает твердой поверхностью.

В 1934 г. американские ученые В. Баде и Ф. Цвики высказали гипотезу, согласно которой нейтронные звезды могут образовываться при вспышках сверхновых звезд в результате быстрого сжатия (коллапса) ядра звезды в конце ее эволюции. Эта гипотеза была подтверждена открытием в 1968 г. пульсара в Крабовидной туманности — остатке сверхновой звезды, которая вспыхнула в 1054 г. и была зарегистрирована в китайских летописях. К настоящему времени открыто свыше 300 радиопулсаров; они представляют собой быстровращающиеся нейтронные звезды (период от 1,6 мс до нескольких секунд), обладающие огромным магнитным полем, достигающим 10^{11} — 10^{12} Гс.

Большие скорости осевого вращения и сильные магнитные поля нейтронных звезд формируются в результате сильного сжатия звезды до чрезвычайно компактного, нейтронного состояния. Механизм излучения радиопулсаров отличается от механизма излучения рентгеновских пульса-

ров и связан с переработкой в направленное радиоизлучение энергии вращения нейтронной звезды с помощью сильного магнитного поля³.

Ввиду того что первоначально пульсары были открыты как одиночные объекты, надежно определить массу нейтронных звезд долгое время не удавалось. Между тем крайне необходимо знать точные величины этих масс. Дело в том, что по современным представлениям, если масса ядра звезды, претерпевшего химическую эволюцию из-за термоядерных реакций, превышает 1,4 M_{\odot} , но не превосходит 2—3 M_{\odot} , то происходит коллапс ядра (которое в конце эволюции звезды состоит в основном из элементов группы железа); затем звезда сбрасывает водородную оболочку, что приводит к вспышке сверхновой и образованию нейтронной звезды⁴. Чрезвычайно важно, что верхний предел значений массы нейтронной звезды определяется в основном эффектами ОТО в широком диапазоне изменения уравнения состояния нейтронного вещества. (Это уравнение устанавливает связь между давлением вещества и его физическими характеристиками.) Для звезд с железными ядрами, массы которых превышают 2—3 M_{\odot} , ОТО предсказывает неограниченное сжатие (релятивистский коллапс) с образованием черной дыры. Связано это с тем, что при больших плотностях вещества основной вклад в плотность энергии (которая определяет силы тяготения) вносит не энергия покоя частиц, а энергия их движения и взаимодействия; в результате давление вещества как бы «весит»: чем больше давление, тем больше плотность энергии и, следовательно, больше силы гравитации, стремящиеся сжать вещество. Кроме того, при сильных гравитационных полях становятся принципиально важными эффекты искривления пространства-времени, что также способствует неограниченному сжатию вещества.

Таким образом, определить массы нейтронных звезд из наблюдений — задача огромного научного значения, в том числе и для проверки предсказания ОТО, согласно которому масса нейтронной звезды не должна превышать 2—3 M_{\odot} . Вот тут-то

³ О физических характеристиках нейтронных звезд см.: Липунов В. М. Магнитосфера рентгеновских пульсаров // Природа. 1980. № 10. С. 52—61.

⁴ Точная верхняя граница массы нейтронной звезды пока неизвестна ввиду неопределенности в уравнении состояния нейтронного вещества.

двойные звезды и сказали свое веское «слово».

Так, изучение рентгеновских пульсаров в двойных системах позволило непосредственно измерить массы шести нейтронных звезд. Прежде всего отметим, что при определении масс рентгеновских пульсаров в двойных системах, так же как и вероятных черных дыр, мы можем пользоваться классическими законами движения звезд в рамках теории тяготения Ньютона (исключение составляет двойной радиопульсар). Это связано с тем, что гравитационное поле нейтронной звезды (или черной дыры) на больших расстояниях с хорошим приближением может быть описано ньютоновской теорией.

Опишем методику «взвешивания» нейтронных звезд в двойных системах. Амплитуда, период и форма кривой лучевых скоростей оптической звезды (чаще всего это звезда раннего спектрального класса O—B) определяют так называемую функцию масс оптической звезды:

$$f_v(m) = m_x^3 \sin^3 i / (m_x + m_v)^2 = 10^{-7} K_v^3 P (1 - e^2)^{3/2},$$

где m_v и m_x — массы оптического и рентгеновского компонентом, соответственно, K_v — наблюдаемая полуамплитуда лучевых скоростей, P — период двойной системы, e — эксцентриситет орбиты. Кривая лучевых скоростей рентгеновского пульсара, которая строится по доплеровским изменениям частоты следования рентгеновских импульсов, позволяет установить функцию масс рентгеновского источника:

$$f_x(m) = m_v^3 \sin^3 i / (m_x + m_v)^2.$$

Из этих двух уравнений находят величины $m_x \sin^3 i$, $m_v \sin^3 i$ и отношение масс компонентом $q = m_x / m_v$. Значение угла наклона орбиты i можно определить, используя информацию о длительности рентгеновского затмения (если система является затменной переменной в рентгеновском диапазоне), а также решая обратную задачу интерпретации оптической кривой блеска для рентгеновской двойной системы. Анализ этой кривой позволяет также определить отношение компонентом q . Таким образом, мы можем проконтролировать надежность определения q из данных о лучевых скоростях компонентом.

Исследования рентгеновских двойных систем привели к замечательному результату: во всех случаях, когда удавалось надежно определить массу рентгеновского пульсара, она не превышала 2—3 M_{\odot} —

в полном соответствии с предсказанием ОТО! Среднее значение массы нейтронной звезды, выведенное из исследования шести рентгеновских двойных систем, составляет $(1,4 \pm 0,3) M_{\odot}$. Так простые и надежные методы исследования двойных звезд снабжают фундаментальную физику результатами первостепенного значения.

МАССЫ «КАНДИДАТОВ» В ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ

Согласно ОТО, если масса железного ядра звезды в конце ее эволюции превышает 2—3 M_{\odot} , то свое существование звезда заканчивает неограниченным сжатием с образованием черной дыры. Поэтому кандидатов в черные дыры нужно в первую очередь искать среди компактных массивных объектов. И здесь, как нигде, изучение двойных систем, в особенности рентгеновских двойных, оказалось в высшей степени плодотворным.

Напомним, что под черной дырой понимается объект, у которого вторая космическая скорость равна скорости света, т. е. никакой сигнал, даже свет, не может выйти из черной дыры. Радиус r невращающейся черной дыры массой m равен ее гравитационному радиусу: $r = r_g = 2Gm/c^2$, где G — постоянная тяготения Ньютона, c — скорость света в вакууме. Для черной дыры массой в десять солнечных $r_g \approx 30$ км.

ОТО предсказывает удивительные свойства черных дыр, из которых важнейшим является наличие у черной дыры так называемого горизонта событий. Для невращающейся черной дыры радиус горизонта событий совпадает с гравитационным радиусом r_g . На горизонте событий, с точки зрения далекого наблюдателя, ход времени останавливается: любому сколь угодно малому промежутку времени на горизонте событий соответствует бесконечно большой промежуток времени для далекого наблюдателя. Поэтому все, что происходит внутри черной дыры, под горизонтом событий, недоступно для изучения далеким наблюдателем. Свободно падающий наблюдатель может проникнуть внутрь черной дыры, под горизонт событий, но он уже не передаст какую-либо информацию далекому наблюдателю. Еще более необычны свойства вращающихся черных дыр: у них горизонт событий имеет меньший радиус по сравнению с невращающейся черной дырой, и погружен он внутрь так называемой эргосферы, в которой тела должны непрерывно двигаться, подхвачен-

ные вихревым гравитационным полем вращающейся черной дыры⁵.

Из всего сказанного ясно, что масса — важнейший параметр черной дыры, поскольку определяет ее размер и даже сам факт принадлежности релятивистского объекта к классу черных дыр. Так вот, если черная дыра входит в состав рентгеновской двойной системы, можно определить ее массу. При аккреции вещества на черную дыру в тесной двойной системе не должно наблюдаться явления рентгеновского пульсара, поскольку, в отличие от нейтронной звезды, черная дыра не обладает ни твердой поверхностью, ни мощным магнитным полем, способным направить плазму на магнитные полюса. Согласно ОТО, при образовании черной дыры из электрически нейтрального вещества все поля излучаются во внешнее пространство. Для черной дыры, на которую происходит аккреция вещества, должна быть характерна иррегулярная переменность рентгеновского излучения с характерным временем $\Delta t \approx r_g/c \approx 10^{-4}$ с. Связано это с возникновением различных неустойчивостей во внутренних частях аккреционного диска.

Таким образом, большая масса (более 2—3 M_{\odot}) и быстрая иррегулярная переменность мощного (10^{36} — 10^{38} эрг/с) рентгеновского излучения — вот те характерные признаки, по которым можно искать черные дыры в рентгеновских двойных системах. Следует, однако, отметить, что если нейтронная звезда обладает слабым магнитным полем или оно «неудачно» ориентировано относительно наблюдателя, то при аккреции вещества на такую звезду могут не возникать регулярные рентгеновские пульсации. Поэтому иррегулярность переменности рентгеновского излучения — это лишь необходимый, но не достаточный признак черной дыры.

Отсутствие регулярных рентгеновских пульсаций не позволяет установить функцию масс рентгеновского источника $f_x(m)$. Поэтому определить массы таких кандидатов в черные дыры — задача значительно более трудная, чем в случае рентгеновских пульсаров. И тем не менее в рентгеновских двойных системах измерить массы кандидатов в черные дыры (точнее, нижние пределы их масс) удастся с большой степенью надежности. Проиллюстри-

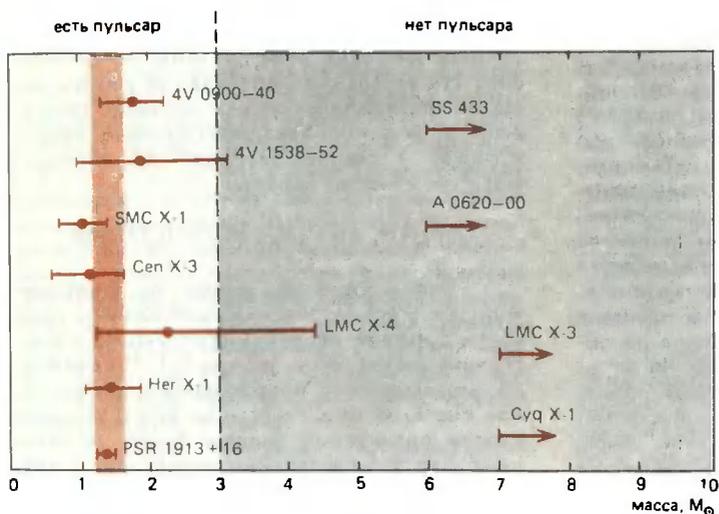
руем это утверждение на примере широко известной рентгеновской двойной системы Лебедь X-1. Для этой системы из оптических спектральных наблюдений рядом авторов определена кривая лучевых скоростей оптической звезды (горячего сверхгиганта) и соответствующая ей функция масс оптической звезды:

$$f_x(m) = m^3 \sin i / (m_x + m_y)^2 = 0,23 M_{\odot}.$$

Чтобы улучшить оценку m_x , получаемую из этого уравнения, необходимо привлечь дополнительную информацию о расстоянии до системы Лебедь X-1. По величине межзвездного покраснения спектра такой системы при известном спектральном классе оптической звезды было установлено, что это расстояние превышает 2 кпк. Кроме того, поскольку в системе отсутствуют рентгеновские затмения, то наклон ее орбиты меньше 65° . Тогда, используя функцию масс $f_x(m)$ и решая обратную задачу интерпретации оптической кривой блеска системы Лебедь X-1, можно получить, что масса рентгеновского источника превышает 7 M_{\odot} (эта величина заведомо больше верхнего предела масс нейтронных звезд). Кроме того, в мощном рентгеновском излучении источника Лебедь X-1 (светимость в рентгеновском диапазоне составляет 10^{37} — 10^{38} эрг/с) не обнаружены периодические пульсации, но для него характерна быстрая иррегулярная переменность с временами вплоть до миллисекунд: это еще один аргумент в пользу того, что мы имеем дело с черной дырой, на которую происходит аккреция вещества. Итак, у нас достаточно веские основания считать рентгеновский источник в системе Лебедь X-1 кандидатом № 1 в черные дыры.

Правда, небольшие сомнения все-таки остаются. Дело в том, что Лебедь X-1 может быть не двойной, а тройной системой. Если второй компонент — не черная дыра, а обычная звезда массой 7 M_{\odot} , то на фоне излучения первого компонента — массивной (около 25 M_{\odot}) и яркой оптической звезды — заметить ее линии в суммарном спектре практически невозможно. А рентгеновское излучение может возникать при аккреции вещества на третий компонент — нейтронную звезду массой примерно 1 M_{\odot} , которая обращается либо вблизи второго компонента, либо по орбите, радиус которой много больше радиуса орбиты двойной системы. Конечно, устойчивость такой тройной системы и возможность ее сохранения после взрыва сверхновой (который мог сопровождать об-

⁵ Подробнее о свойствах черных дыр см., напр.: Новиков И. Д. Электродинамика черных дыр // Природа. 1986. № 7. С. 59—61.



Значение масс релятивистских объектов, полученные из анализа наблюдений двойных систем. Слева — массы рентгеновских пульсаров и радиопулсара PSR 1913+16. Цветная полоса соответствует среднему значению массы нейтронной звезды. Справа — найденные из наблюдений нижние пределы масс кандидатов в черные дыры. Важно, что нет ни одного рентгеновского пульсара с массой более $3M_{\odot}$ (верхний предел массы нейтронной звезды, согласно ОТО). С другой стороны, ни у одного из кандидатов в черные дыры не наблюдаются регулярные пульсации рентгеновского излучения. Это существенный аргумент в пользу того, что найденные кандидаты в черные дыры действительно являются черными дырами в смысле ОТО.

разование нейтронной звезды) кажутся маловероятными. Тем не менее подобная модель до сих пор не опровергнута наблюдениями. Более того, в последнее время в системе Лебедь X-1 были обнаружены долгопериодические (с периодом в 294 суток) изменения рентгеновского и оптического потоков, а также линейной поляризации оптического излучения; этот период много больше орбитального, равного 5,6 суток. Очень заманчиво было бы объяснить такую долгопериодическую переменность присутствием третьего, достаточно удаленного от двойной системы тела; однако, как показывает детальный анализ этой переменности, ее гораздо легче и проще объяснить эффектами прецессии аккреционного диска. Подобные прецессирующие аккреционные диски, наклоненные по отношению к орбитальной плоскости, наблюдаются во многих рентгеновских двойных системах: в Геркулесе X-1, LMC X-4, SS 433 и др. В целом же можно заключить, что 12 лет исследования системы Лебедь X-1 укрепили уверенность астрофизиков в том, что Лебедь X-1 наиболее вероятный кандидат в черные дыры.

В последние три года были открыты еще 3 таких кандидата; ими оказались рентгеновские двойные системы LMC X-3, A 0620-00 и знаменитый объект SS 433, который также представляет собой рентгеновскую двойную систему, но с оптически ярким аккреционным диском вокруг релятивистского объекта⁶, прецессирующим с периодом 164 суток. Массы ре-

лятивистских объектов в этих системах оценены так: для LMC X-3 $m_1 > 7 M_{\odot}$, для A 0620-00 и SS 433 $m_1 > 6 M_{\odot}$. Таким образом, в настоящее время мы имеем уже четыре кандидата в черные дыры.

Чрезвычайно важно, что все они резко отличаются от нейтронных звезд не только по массам, но и по тому, как проявляют себя в рентгеновском диапазоне спектра: ни у одного не наблюдаются строго периодических пульсаций рентгеновского излучения, характерных для быстро вращающихся нейтронных звезд с сильным магнитным полем. Если этот вывод подтвердится в дальнейшем на большом числе объектов (скажем, на многих десятках), он будет сильнее, если не сказать решающим, аргументом в пользу того, что найденные кандидаты в черные дыры действительно являются черными дырами в смысле ОТО, поскольку именно ОТО предсказывает границу между массами нейтронных звезд и черных дыр, равную $2-3 M_{\odot}$, именно ОТО указывает на отсутствие у черных дыр твердой поверхности и магнитных полей.

В ближайшие годы планируется запустить на орбиту вокруг Земли новые крупные оптические и рентгеновские телескопы с очень большой чувствительностью,

⁶ Об объекте SS 433 см.: Колыхалов П. И., Любарский Ю. Э. Уникальный объект SS 433 // Природа. 1981. № 12. С. 19—23.

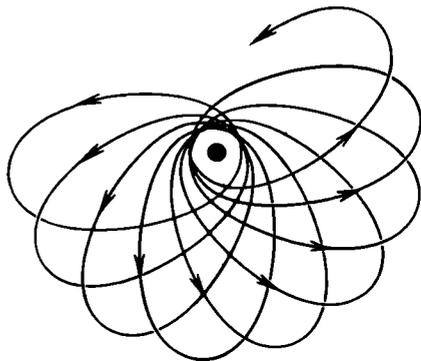
достаточной, чтобы исследовать рентгеновские двойные системы не только в нашей, но и в других галактиках. Это позволит существенно увеличить число рентгеновских источников, у которых будут определены массы, и тем самым будет, мы надеемся, внесена полная ясность в проблему существования черных дыр во Вселенной.

Таким образом, астрономия двойных звезд эффективно «работает» в одной из самых актуальных областей современного естествознания — в проблеме поиска и количественного исследования черных дыр.

РЕЛЯТИВИСТСКОЕ СМЕЩЕНИЕ ПЕРИАСТРОВ ОРБИТ

В предыдущих разделах мы показали, как исследования двойных звезд позволяют изучать нейтронные звезды и кандидатов в черные дыры — объекты релятивистской астрофизики, обладающие сильными и сверхсильными гравитационными полями. Перейдем теперь к рассмотрению случаев, когда двойные звезды помогают изучать релятивистские эффекты в слабых полях. Рассмотрим процесс смещения периастра орбиты двойной системы, вызванный эффектами ОТО.

Если две сферические звезды движутся под действием взаимного притяжения, подчиняющегося закону Ньютона, орбиты звезд представляют собой замкнутые эллипсы или окружности. Если фигуры звезд деформированы либо приливными возмущениями, либо вращением звезд, их гравитационные поля описываются законом, отличным от поля точечной массы. Поэтому даже в ньютоновской теории орбиты звезд в такой тесной двойной системе будут незамкнуты. Приближенно их можно считать эллиптическими, но периастры этих орбит будут медленно смещаться в направлении орбитального движения звезд. Этот классический эффект уже давно наблюдается в нескольких десятках затменных двойных систем, состоящих из нормальных звезд. Пионерские работы в этой области были выполнены Д. Я. Мартыновым. По скорости смещения периастра орбиты можно судить о распределении плотности вещества в теле звезды и тем самым получать уникальную информацию, недоступную непосредственным наблюдениям. Таким способом примерно для двух десятков звезд удалось измерить отношение плотности вещества в центре звезды к ее средней плотности; оказалось,

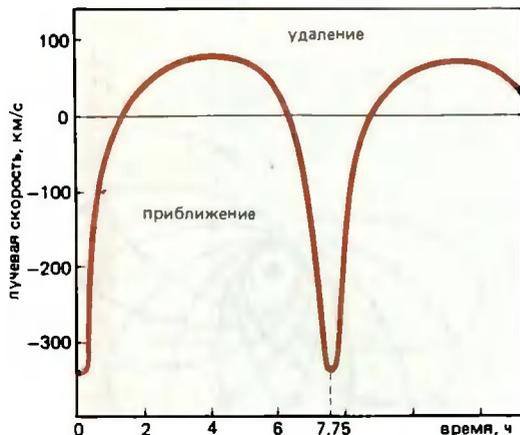


Траектория движения материальной частицы в описываемом ОТО поле тяготения точечной массы. Орбита незамкнута, ее можно аппроксимировать эллипсом, периастр которого медленно смещается в направлении орбитального движения.

что величина этого отношения заключена в интервале от 50 до 500. Таким образом, непосредственно из наблюдений следует, что вещество внутри звезд сильно сконцентрировано к центру. Подобный вывод хорошо согласуется с современными представлениями о внутреннем строении звезд и их эволюции на термоядерной основе.

Учет эффектов ОТО приводит к тому, что даже в тесной двойной системе, состоящей из двух сферических или точечных масс, орбиты компонентов не будут замкнутыми. В этом случае приближенно орбиту можно считать эллиптической, но все равно ее периастр медленно смещается в направлении орбитального движения. Скорость такого релятивистского смещения периастра тем больше, чем больше суммарная масса двойной системы и эксцентриситет ее орбиты.

Релятивистское смещение периастра (точнее, перигелия) орбиты наблюдается, например, у Меркурия — ближайшей к Солнцу планеты, и составляет 43 угловых секунды в столетие. Объяснение этого эффекта было одним из блестящих подтверждений ОТО. В 60-х годах стали разрабатываться различные релятивистские теории гравитации, отличные от ОТО. Например, так называемая скалярно-тензорная теория



Кривая лучевых скоростей радиопульсара PSR 1913+16 в двойной системе. Сильное отличие кривой от синусоиды свидетельствует о большом значении эксцентриситета орбиты. Нижняя часть кривой соответствует приближению пульсара к наблюдателю, верхняя — удалению от него.

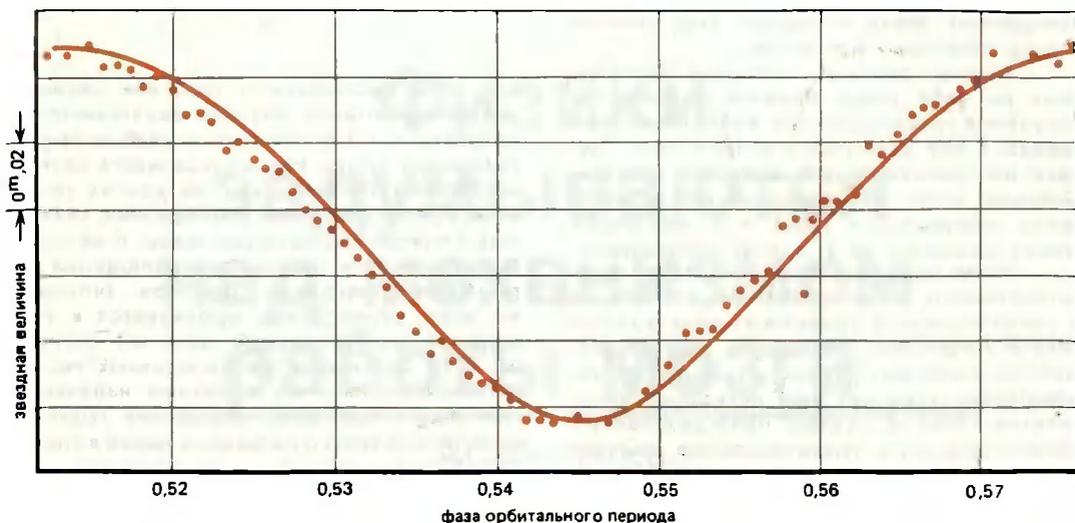
гравитации, развитая Р. Дикке, предсказывает, что за столетие перигелий Меркурия сместился не на 43 угловых секунды, а лишь на 39. Разницу в 4 секунды Р. Дикке с сотрудниками объясняли искажениями орбиты Меркурия, вызванными сплюснутостью Солнца. В 1974 г. они попытались непосредственно измерить сплюснутость видимого диска Солнца, однако полученные ими результаты впоследствии не подтвердились измерениями других исследователей. Тем не менее проблема этим не исчерпалась, поскольку отклонения гравитационного поля Солнца от поля шара могут быть связаны со сплюснутостью его самых центральных, наиболее плотных частей, что вызвано их быстрым осевым вращением. При этом внешние слои Солнца могут сохранять почти сферическую форму.

В последнее время появилась возможность изучать распределение углового момента вращения вещества в недрах Солнца по наблюдениям различных пульсаций его поверхности. Развивается новая область астрофизики — гелиосейсмология. Вместе с тем новые достижения наблюдательной астрофизики позволяют при исследовании релятивистского смещения периастра орбиты не ограничиваться только системой Солнце — Меркурий. Эффект можно наблюдать и в тесных двойных звездных системах.

Впервые релятивистское смещение периастра орбиты у объекта, расположенного вне Солнечной системы, было обнару-

жено у знаменитого двойного радиопульсара PSR 1913+16, открытого Р. Хальсом и Д. Тейлором в 1974 г. Система представляет собой нейтронную звезду массой $1,4 M_{\odot}$, вращающуюся вокруг своей оси с периодом 0,059 с в паре с невидимым компактным компонентом, вероятно, также нейтронной звездой, но не обладающей сильным магнитным полем. Орбитальный период системы составляет 7 ч 45 мин, эксцентриситет орбиты равен 0,61. Очень большая стабильность следования радиоимпульсов от пульсара позволяет с чрезвычайно высокой точностью измерять лучевую скорость первой нейтронной звезды (по доплеровским сдвигам наблюдаемой частоты следования импульсов). Из формы соответствующей кривой лучевых скоростей определяется положение (долгота) периастра орбиты. Оказалось, что периастр двойной системы PSR 1913+16 действительно смещается, причем на весьма большую величину — $4^{\circ},22$ в год. Поскольку двойная система состоит из чрезвычайно компактных объектов, влияние их взаимных приливных возмущений несущественно и наблюдаемое смещение периастра полностью связано с релятивистскими эффектами.

Для количественной проверки ОТО в данном случае необходимо знать сумму масс компонентов. Поскольку измеряются лучевые скорости лишь одного компонента системы, информация о сумме масс отсутствует. Поэтому наблюдаемое смещение долготы периастра используется не для проверки ОТО, а, наоборот, для определения суммы масс компонентов. В комбинации с наблюдаемой функцией масс и величиной наклона орбиты i это позволило найти массы компонентов, которые оказались почти в точности равными и составили $1,4 M_{\odot}$. Найденные таким способом массы нейтронных звезд ($1,4 M_{\odot}$) чрезвычайно близки к среднему значению массы нейтронной звезды, полученному из анализа рентгеновских пульсаров в двойных системах ($1,4+0,3$) M_{\odot} . В свою очередь, зная массы компонентов и параметры орбиты двойной системы, можно рассчитать теоретическое значение скорости уменьшения орбитального периода двойного радиопульсара (эффект обусловлен излучением гравитационных волн). Сравнение вычисленной скорости с наблюдаемой дает еще одну уникальную возможность проверить предсказания ОТО о существовании гравитационного излучения, о чем речь пойдет в следующем разделе.



Сдвиг вторичного минимума в кривой блеска классической затменной двойной системы EK Цфея за 20 лет. По оси абсцисс отложена фаза орбитального периода, по оси ординат — блеск системы V в звездных величинах. Точки — наблюдения последних лет, сплошная линия — теоретическая кривая, вычисленная по параметрам орбиты, найденным из наблюдений 20-летней давности. Заметно смещение наблюдаемого и теоретического минимумов, что вызвано поворотом большой полуоси орбиты двойной системы на угол $1^{\circ},17$. Эффект в основном обусловлен релятивистским смещением периастра орбиты.

С 1978 г. на кафедре астрофизики физического факультета МГУ и в отделе звездной астрофизики ГАИШ под руководством Д. Я. Мартынова впервые начаты систематические поиски релятивистских смещений периастров орбит в классических разделенных затменных двойных системах: в них как массы и радиусы компонентов, так и эксцентриситет орбиты находятся независимо — из анализа кривых лучевых скоростей обоих компонентов и кривой блеска. Поэтому, в отличие от двойного радиопульсара, знание масс компонентов позволяет рассчитать теоретическое значение скорости релятивистского смещения периастра орбиты и сравнить его с наблюдаемым.

К настоящему времени X. Ф. Халиуллин у четырех затменных двойных систем (EK Цфея, V 1143 Лебедя, V 541 Лебедя и V 889 Орла) найдено релятивистское смещение периастра орбиты в согласии с предсказанием ОТО. В двух случаях (D1 Геркулеса и AS Жирафа) релятивистский член в смещении периастра орбиты оказался аномально малым, хотя, как следует из наблюдаемых параметров двойных систем, он должен быть заметен. Сейчас обсуждаются различные причины, которые

могут вызвать «попятное» смещение периастров орбит у этих систем, компенсирующее релятивистское смещение.

ИЗЛУЧЕНИЕ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

Согласно ОТО, гравитационные волны представляют собой поперечные волны кривизны пространства-времени, которые могут существовать вдали от гравитирующих масс и распространяться со скоростью, равной скорости света в вакууме. Под воздействием гравитационной волны тела испытывают деформации приливного типа — растяжение и сжатие.

Поиски и детектирование гравитационных волн представляют собой одну из важнейших проверок ОТО. Кроме того, как отметил В. Л. Гинзбург, регистрация гравитационного излучения, идущего из космоса, даст астрофизикам новый канал информации о природе объектов, находящихся на экстремальных стадиях развития. К числу таких стадий можно отнести, например, коллапсы массивных звезд, близкие пролеты и столкновения

нейтронных звезд и черных дыр, ранние стадии эволюции Вселенной.

Тесные двойные звездные системы сами по себе могут служить источником излучения гравитационных волн, поскольку звезды в них движутся с ускорением. Однако ожидаемая величина потока гравитационных волн от классических двойных звезд чрезвычайно мала и в настоящее время измерить ее с Земли невозможно.

Из-за исключительной слабости гравитационного взаимодействия генерация и детектирование гравитационных волн — задача гигантской сложности, над ее решением работают ученые примерно 20 лабораторий мира вот уже несколько десятилетий. Пока не удалось непосредственно зарегистрировать гравитационное излучение. Но тут «помог» описанный выше двойной радиопульсар PSR 1913+16, который настойчиво «сообщает» о существовании гравитационных волн.

Длительные наблюдения этой двойной системы позволили астрофизикам не только проследить за релятивистским смещением периастра ее орбиты и определить массы компонентов, а также наклон орбиты, но и установить, что орбитальный период системы уменьшается. Поскольку размеры нейтронных звезд — компонентов этой двойной системы — много меньше расстояния между ними, наблюдаемое уменьшение периода не может быть связано с приливными эффектами и диссипацией энергии в двойной системе, но безусловно вызвано потерей ею энергии за счет излучения гравитационных волн. Согласно данным Дж. М. Вейсберга и Дж. Х. Тейлора, наблюдаемая скорость уменьшения периода двойного радиопульсара PSR 1913+16 с точностью 4 % согласуется со скоростью, рассчитанной в рамках ОТО. Столь хорошее согласие теории и наблюдений, по мнению авторов работы, заставляет отвергнуть большинство релятивистских теорий гравитации, отличных от ОТО, и позволяет заключить, что гравитационные волны существуют и описываются в соответствии с ОТО.

Итак, астрономия двойных звезд дает вполне определенные указания на реальность существования гравитационных волн в природе. Это вдохновляет экспериментаторов на новые усилия по сооружению сверхвысокочувствительных антенн для детектирования потоков гравитационного излучения, идущего из космоса. В нашей стране этой важной и трудной проблемой занимается группа В. Б. Брагинского на физическом факультете МГУ.

*

Мы рассказали о том, как двойные звезды позволяют изучать релятивистские эффекты ОТО в сильных и слабых гравитационных полях. Недостаток места не позволил нам остановиться на других проблемах релятивистской астрофизики, связанных с изучением двойных звезд. К их числу можно отнести, например, наблюдения поперечного эффекта Доплера (который во всем великолепии проявляется в уникальной рентгеновской двойной системе SS 433), эволюцию маломассивных тесных двойных систем под влиянием излучения гравитационных волн, измерение гравитационного красного смещения линий в спектрах белых карликов — компонентов затменных двойных систем, и др. Однако из изложенного уже видно, насколько плодотворным оказалось изучение двойных звезд для решения многих проблем релятивистской астрофизики. Не менее эффективно идеи и методы релятивистской астрофизики влияли на развитие науки о двойных звездах. Хочется еще раз подчеркнуть, что в виде тесных двойных систем природа подарила нам естественные лаборатории, в которых благодаря движению компонентов и их взаимодействию оказывается возможным определять важнейшие характеристики звезд и изучать различные проявления эффектов общей и специальной теории относительности.

Физики задумываются над механизмом работы мозга

А.С.Михайлов

ИЗУЧЕНИЕ мозга вовсе не узкий раздел биологии, как иногда кажется при взгляде со стороны. Здесь идет речь не просто о строении одного из органов человеческого тела. Загадка мозга — одна из наиболее фундаментальных проблем современной науки. Ее решение приведет к подлинному перевороту как в нашем понимании человека, так и в принципах обработки информации искусственно создаваемыми системами. Теоретический анализ механизмов работы мозга имеет свою историю. Этими вопросами занимались не только нейрофизиологи, но и крупные математики. Тем не менее до настоящего времени решительное продвижение в понимании глубинных принципов деятельности мозга по-прежнему отсутствуют.

Физики могут помочь (и уже помогают) в совершенствовании экспериментальных методов нейрофизиологии¹. Однако их интерес к механизмам работы мозга вызван также другими причинами. Развитие компьютерной техники ставит в повестку дня создание молекулярных вычислительных устройств, в которых размер отдельного логического элемента был бы сравним с величиной крупной полимерной молекулы². Принципиальные технологические трудности здесь отсутствуют. В то же время остается неясным, какой должна быть архитектура подобного устройства. Очевидно лишь, что молекулярную вычислительную машину нельзя построить как традиционную ЭВМ — хотя бы потому, что в последней слишком велики требования к надежности отдельных элементов и правильности их соединения друг с другом. Полагают, что эти устройства (их также называют биокомпьютерами) могли бы использовать некоторые из принципов, свойственных работе мозга.



Александр Сергеевич Михайлов, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник физического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Выпускник кафедры квантовой теории физического факультета МГУ (1973 г.). Область научных интересов — синергетика, теория процессов самоорганизации в сильно неравновесных конденсированных системах. Автор монографии: Самоорганизация в неравновесных физико-химических системах (совместно с Л. С. Поляком). М., 1983.

¹ Гуляев Ю. В., Годик Э. Э. Физические поля биологических объектов // Кибернетика живого: биология и информация. М., 1984. С. 111—117; Введенский В. Л., Ожогин В. И. Магнитные поля человека // Там же. С. 117—131.

² Рамбиди Н. Г., Замалин В. М. Молекулярная микроэлектроника: истоки и надежды. М., 1985.

Предлагаемые читателю заметки — это размышления физика о тех сторонах работы мозга, которые сегодня представляются наиболее существенными для построения достаточно простых распределенных систем, способных к быстрой обработке и хранению больших объемов информации. В связи с этим будет рассказано также о ряде физических моделей, создание которых было навеяно изучением мозга, хотя они не претендуют на прямое объяснение конкретных нейрофизиологических явлений.

МОЗГ И КОМПЬЮТЕР

Человеческий мозг — это гигантская сеть из десятков миллиардов нервных клеток — нейронов³, связанных между собой отростками (дендритами и аксонами). Число связей одного нейрона может достигать десятков тысяч. Благодаря работам нейрофизиологов достаточно хорошо известен механизм действия отдельного нейрона. Отвлекаясь от быстрых переходных процессов, можно сказать, что нервная клетка способна находиться в одном из трех дискретных состояний — покое, возбуждении и рефрактерности (состоянии невозбудимости). Переходы между состояниями управляются как процессами внутри самой клетки, так и электрическими сигналами, поступающими к ней по отросткам от других нейронов. Переход от состояния покоя к возбуждению происходит пороговым образом при почти одновременном поступлении достаточно большого числа импульсных сигналов возбуждения. Оказавшись в возбужденном состоянии, нейрон находится в нем в течение определенного времени, а затем самостоятельно переходит в состояние рефрактерности. Это состояние характеризуется очень высоким порогом возбуждения: нейрон практически не способен реагировать на приходящие к нему сигналы возбуждения. Через некоторое время способность к возбуждению восстанавливается и нейрон возвращается в состояние покоя.

При переходе в возбужденное состояние в выходном отростке (аксоне) генери-

руется импульс возбуждения, распространяющийся по нему со скоростью от 1 до 100 м/с; в основе процесса распространения лежит изменение локальной проводимости мембраны аксона по отношению к ионам натрия и калия. Между нейронами нет прямых электрических контактов. Перенос сигнала с аксона на входной отросток (дендрит) другого нейрона происходит химическим путем в специальной области — синапсе, где окончания двух нервных клеток подходят близко друг к другу. Некоторые из синапсов являются особыми. Под действием сигналов возбуждения они формируют в дендрите импульс торможения, имеющий обратную электрическую полярность. При одновременном поступлении в нейрон такие импульсы способны гасить сигналы возбуждения.

Помимо устройства отдельной нервной клетки относительно хорошо изучены глобальные аспекты деятельности мозга — специализация его больших областей, функциональные связи между ними и т. п. В то же время мало известно, как же осуществляется обработка информации на промежуточном уровне, в участках нейронной сети, содержащих всего десятки тысяч нервных клеток.

Иногда мозг уподобляют колоссальной вычислительной машине, отличающейся от привычных компьютеров лишь значительно большим числом составляющих его элементов. Считается, что каждый импульс возбуждения переносит единицу информации, а нейроны играют роль логических переключателей, в полной аналогии с устройством ЭВМ. Такая точка зрения полностью ошибочна⁴. Работа мозга должна основываться на совершенно иных принципах.

Прежде всего, в мозге нет жесткой структуры связей между нейронами, которая была бы подобна электрической схеме ЭВМ. Кроме того, надежность его отдельных элементов — нейронов — гораздо ниже, чем у элементов, используемых для создания компьютеров. Разрушение даже таких участков, которые содержат довольно большое число нервных клеток, зачастую почти не влияет на эффективность обработки информации в целом в этой

³ В приводимом ниже описании есть ряд упрощений. Подробнее об устройстве нейронных сетей мозга можно прочитать в книге: Хамори И. Долгий путь к мозгу человека. М., 1985.

⁴ Поверхностную аналогию между мозгом и компьютером критикует и один из основателей молекулярной биологии Ф. Крик, занимающийся в последние годы исследованиями мозга. См.: Crick F. // *Scient. Amer.* 1979. № 3. P. 181—193.

области мозга. Часть нейронов отмирает при старении организма. Никакая вычислительная машина, построенная на традиционных принципах, в таких условиях работать не сможет.

Современные вычислительные машины выполняют операции последовательно, по одной операции на такт (подобно человеку с арифмометром или логарифмической линейкой). Число извлекается из памяти, над ним производится некоторое действие, и оно вновь помещается в память. Вообще говоря, при выполнении отдельной операции электрический сигнал должен пробежать по соединительным проводам расстояние порядка размера центрального процессора. Отсюда возникает ограничение на быстродействие такой вычислительной машины.

Пусть размер процессора равен 30 см. Электрический сигнал пробегает это расстояние по металлическим проводам со скоростью света за время 10^{-9} с. Поэтому, если все операции выполняются последовательно, теоретический предел этой вычислительной машины составляет миллиард операций в секунду.

Если распространить эти рассуждения на человеческий мозг, результаты будут абсурдными. Ведь скорость распространения сигналов по нервному волокну не превышает 100 м/с, что в сотни миллионов раз меньше скорости света. Если бы мозг работал как традиционная ЭВМ, теоретический предел его быстродействия равнялся бы всего тысяче логических операций в секунду. Даже по самым грубым оценкам этого совершенно не достаточно, чтобы объяснить высокую эффективность работы мозга.

Известный способ устранить ограничения, связанные с конечной скоростью распространения сигнала, состоит в организации параллельных вычислений⁵. Некоторые элементы техники параллельных вычислений использованы в наиболее мощных современных ЭВМ — суперкомпьютерах, но в полной мере они реализуются в матричных процессорах.

Матричный процессор можно представить себе как сеть из более простых (примитивных) процессоров. Каждый примитивный процессор обладает небольшой собственной памятью и может обмениваться информацией лишь со своими непосредственными соседями по сети.

Техника параллельного вычисления наиболее эффективна для решения задач, удовлетворяющих условию локальности, когда изменение состояния данного малого элемента среды за малый промежуток времени определяется лишь мгновенным состоянием этого элемента и его ближайших соседей. Примитивный процессор «знает» лишь о состоянии данного малого элемента среды и о состоянии соседних с ним элементов. Основываясь на этой информации, он вычисляет по определенному алгоритму состояние своего элемента в следующий момент времени. Ограничение на быстродействие, обусловленное конечной скоростью распространения сигналов, здесь отсутствует, ибо обмен сигналами идет только между ближайшими соседями, а расстояние между ними можно сделать очень малым.

Работа матричного процессора устойчива по отношению к локальным повреждениям. Если какой-то из примитивных процессоров вышел из строя, это скажется лишь на правильности вычислений, производимых в его малой окрестности, и не приведет к срыву работы всего компьютера.

Отдельный класс задач, для решения которых с успехом применяются матричные процессоры — обработка изображений. Требуемые для такой обработки основные операции (усиление контрастности, выделение контуров, поиск углов и т. п.) являются локальными и могут осуществляться одновременно для разных областей обрабатываемой картины.

Нейронная сеть гораздо ближе к матричному процессору, чем к традиционной ЭВМ с последовательным выполнением операций. Тем не менее работу мозга нельзя приравнять к действиям параллельной вычислительной машины. Дело в том, что нейронные сети мозга вообще не заняты никакими вычислениями.

Это утверждение может показаться странным. Чем же мы занимались в школе на уроках арифметики? Тут нужно прежде всего напомнить, что всюду в статье обсуждаются не интегральные аспекты деятельности мозга, а принципы работы его небольших участков. Способность к абстрактному мышлению, и в частности к обращению с числами, свойственна только человеку, т. е. была приобретена на очень поздней стадии эволюционного развития. Это не сопровождалось какими-либо существенными изменениями в устройстве отдельных нервных клеток и организации нейронной сети. Абстрактное мышление вторично, надстроечно, по отношению

⁵ Канторович Л. В., Фет Я. И. Архитектура будущих ЭВМ // Природа. 1986. № 7. С. 3—15.

к фундаментальным механизмам работы мозга.

Рассмотрим простой пример. Вратарь безошибочно ловит мяч вслед за ударом игрока. С математической точки зрения, чтобы угадать место и момент падения мяча, нужно решить некоторое дифференциальное уравнение. Можно ли себе представить, что это математическое уравнение присутствует в мозге у человека и он находит его решение в считанные доли секунды?

Глубинные механизмы, на которых базируется человеческое мышление, должны быть общими с нашими эволюционными предшественниками. Язык и способность манипулировать с абстрактными символами должны строиться из чего-то, что уже было у «неразумных» животных.

В связи с этим хотелось бы привести высказывание А. Эйнштейна: «Слова и язык, по-видимому, не играют никакой роли в моем механизме мышления. Физические сущности, которые в действительности, видимо, служат элементами мышления,— это определенные знаки и более или менее ясные образы, которые могут «произвольно» воспроизводиться и комбинироваться... Такая комбинационная игра является, возможно, существенным признаком продуктивного мышления — когда еще нет никакой связи с логической конструкцией из слов или каких-то знаков, предназначенных для сообщения другим людям. В моем случае указанные элементы принадлежат к зрительному и отчасти даже мускульному типу. Обычные слова приходятся с трудом подбирать лишь на второй стадии, когда упомянутая игра уже достаточно упрочена и может воспроизводиться по желанию»⁶.

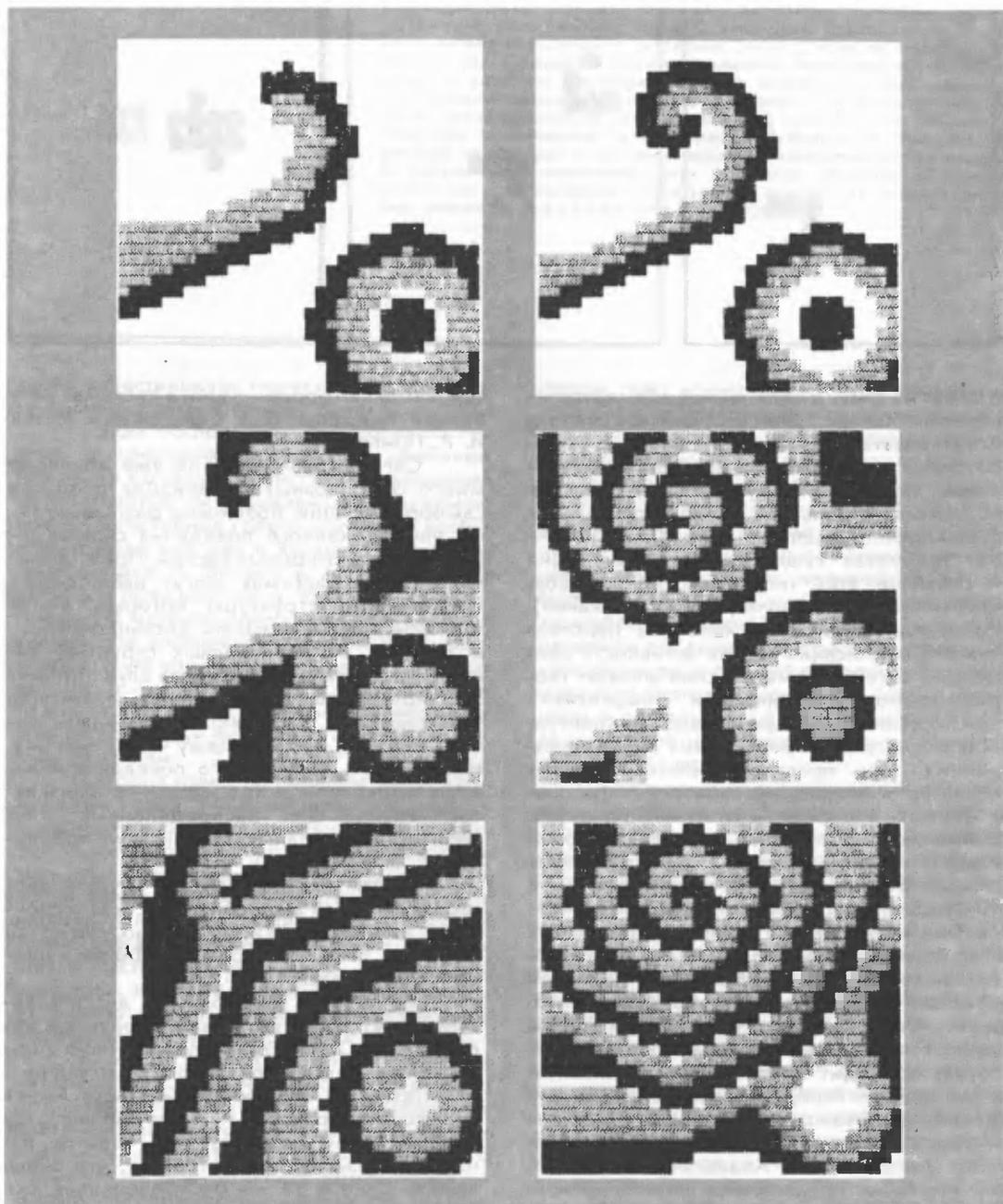
Разумеется, те образы, о которых говорит Эйнштейн, относятся уже к довольно высокому уровню функционирования мозга. И все же его слова проливают, как кажется, свет на характер процессов, лежащих в основе мышления. Можно предположить, что мозг хранит и перерабатывает информацию в образах. Он работает как колоссальная «аналоговая» машина, где окружающий мир находит отражение в пространственно-временных структурах активности нейронов. Образное моделирование позволяет строить предсказания будущих событий и планы действий.

Подобный механизм работы мозга мог естественно возникнуть в ходе биологической эволюции. Для простейшего животного задача нервной системы состоит в том, чтобы преобразовать ощущения, вызываемые внешним миром, в определенную двигательную активность. Дождевой червь стремится покинуть освещенное место, лягушка мгновенно атакует любой передвигающийся малый предмет, оказавшийся в ее поле зрения. Существенные для поведения животного аспекты внешнего мира формируют определенный образ — картину активности некоторой группы нейронов. Этот образ, в свою очередь, должен вызывать соответствующий акт движения, т. е. трансформироваться в определенную активность другой группы нейронов, управляющих сокращениями мышечных волокон. На низших стадиях эволюции связь между образом-ощущением и образом-движением является прямой, однозначной и наследственно закрепленной. На более поздних стадиях эта связь усложняется. Прежде всего появляется способность к обучению. Она предполагает наличие трех факторов. Животное должно формировать свое поведение до определенной степени случайно, так, чтобы можно было опробовать различные варианты действий. Во-вторых, оно должно регистрировать эффективность избранного варианта действий, т. е. фиксировать его результат. Наконец, совокупная информация о картине ощущений и наиболее эффективном образе действий должна сохраняться в нейронной сети, для чего должен появиться какой-то механизм долговременной памяти. Теперь уже образ-ощущение не связан прямо с планом действия. Вначале осуществляется его промежуточная обработка и сравнение с хранящимися в памяти картинками. Промежуточная обработка образов становится все более сложной при движении вверх по эволюционной лестнице. В конечном счете, после длительного развития, на ее основе формируется процесс, называемый нами мышлением.

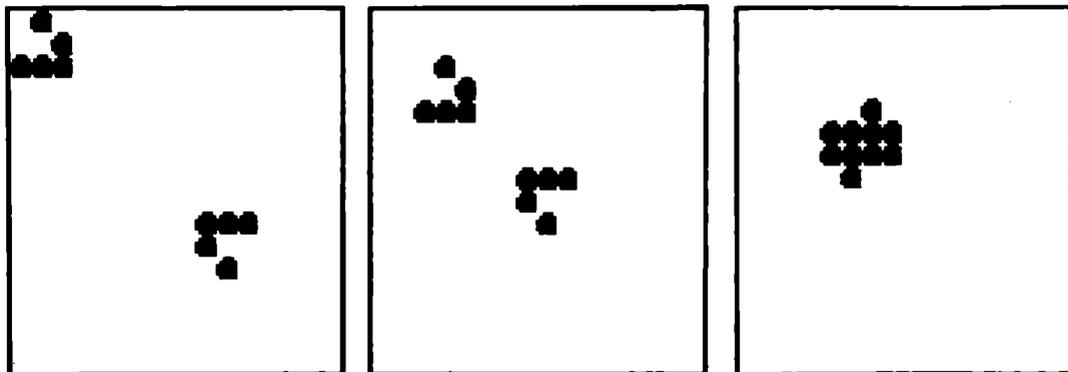
САМООРГАНИЗУЮЩИЕСЯ СТРУКТУРЫ

Если работа мозга имеет аналоговый характер, сам подход к его изучению должен принципиально отличаться от предлагаемого вычислительной математикой. Формирование и обработка образов — это физический процесс, коллективное свойство достаточно однородных сетей, которые

⁶ Цит. по: Адамар Ж. Исследование психологии процесса изобретения в области математики. М., 1970. С. 31.



Результаты моделирования на ЭВМ взаимодействия двух автоволновых структур (пейскекера, т. е. локального источника волны, и спиральной волны) в сети клеточных автоматов, которая описывается модифицированной моделью Винера — Розенблюта [по: Зыков В. С., Михайлов А. С. // Доклады АН СССР. 1986. Т. 286. С. 341—343]. Картины слева и справа отличаются разным выбором свойств отдельных элементов среды; на каждой из них представлены по три «кадра», относящихся к различным последовательным моментам времени. Темные участки обозначают элементы, находящиеся в данный момент в состоянии возбуждения, белые — в состоянии покоя, серые — в состоянии рефрактерности. На трех кадрах слева пейскекер, являющийся источником концентрических расходящихся волн, имеет более высокую частоту и вытесняет спиральную волну. При обратном соотношении частот (кадры справа) спиральная волна подавляет пейскекер.



состоят из сильно нелинейных элементов — нервных клеток. Для его анализа можно использовать теоретический аппарат, разработанный в физике для исследования волновых явлений и структурных переходов в системах с большим числом идентичных взаимодействующих объектов (хотя, конечно, требуется существенная детализация и развитие этих теоретических методов, чтобы учесть специфику нервных тканей). На сегодняшний день наиболее перспективен для описания картин активности нейронных сетей математический аппарат теории самоорганизации, или синергетики⁷.

Самоорганизацией называют спонтанное образование регулярных пространственных или пространственно-временных структур в сильно неравновесных распределенных системах различной природы. Внимание к проблеме самоорганизации было привлечено предпринятым Л. фон Бергаланфи и Э. Шредингером в 40-х годах нашего века поиском закономерностей, свойственных живым организмам. Ими было показано, что непрерывающийся процесс структурообразования в живой природе не противоречит законам термодинамики, поскольку все живые организмы являются открытыми системами, через которые проходит поток энергии и химических веществ. Из проведенных ими рассуждений следовало, что явление самоорганизации не есть уникальное свойство биологических систем. Аналогичные явления, пусть в более примитивной форме, должны иметь место и в «неживых» системах, в средах с химическими реакциями или в чисто физических средах. Одним из первых, кто начал систематические поиски и изучение

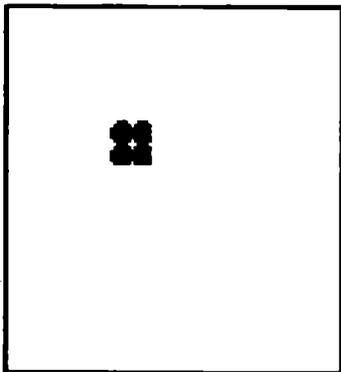
эффектов самоорганизации в системах различной природы, был бельгийский физик И. Р. Пригожин.

Сегодня нам известно уже довольно много об основных механизмах процесса самоорганизации. Возможны различные типы упорядоченного поведения сильно неравновесных открытых систем. Прежде всего, в таких системах могут наблюдаться стационарные структуры, которые Пригожин предложил называть диссипативными. В отличие от равновесных структур, типичными примерами которых служат обычные кристаллы, диссипативные структуры образуются и сохраняются благодаря потоку энергии, проходящему через систему. Иным типом регулярного поведения являются автоволновые процессы — аналоги автоколебаний для распределенных сред (термин «автоволны» введен в употребление Р. В. Хохловым).

В рамках этой статьи трудно дать сколько-нибудь подробный рассказ о свойствах автоволн и диссипативных структур. Отметим лишь некоторые наиболее существенные факты.

Во-первых, автоволны и диссипативные структуры — это очень устойчивые образования. Они восстанавливают свою форму после малого локального возмущения. Во-вторых, их возникновение часто имеет пороговый характер, т. е. они появляются лишь в ответ на достаточно сильное начальное возмущение. В-третьих, что очень важно, одна и та же распределенная система способна поддерживать огромное число совершенно различных диссипативных структур или автоволновых режимов. Она как бы содержит в себе в качестве зародышей исключительное многообразие различных (устойчивых!) пространственных или пространственно-временных картин. Эти картины могут взаимодействовать друг с другом и трансформироваться, испытывая

⁷ Кадомцев Б. Б., Рязанов А. И. Что такое синергетика? // Природа. 1983. № 8, С. 2—11.



Эволюция структур в сети клеточных автоматов, отвечающей математической игре «Жизнь». Правила этой игры просты: каждый элемент может находиться в состоянии покоя (тогда он обозначается белым) или активности (черным); элемент переходит из состояния покоя в активное состояние, если по соседству с ним оказались три активных элемента. Состояние активности сохраняется при наличии среди ближайших соседей двух или трех активных элементов. Показано столкновение двух «парусов» (структур в виде уголка), каждый из которых с течением времени перемещается по прямой. В результате столкновения двух подобных объектов образуется устойчивая стационарная структура — квадрат из четырех активных элементов [крайний справа кадр].

даже качественную перестройку, при определенных изменениях свойств среды.

Среди исследуемых в работах по теории самоорганизации систем наиболее близкими по своим свойствам к нейронной сети являются так называемые возбудимые среды. Собственно говоря, изучение возбудимых сред как раз и восходит к пионерской работе Н. Винера и А. Розенблюта, которые предложили в 1946 г. идеализированную математическую модель нервной ткани⁸. Эта упрощенная модель описывает возбудимую среду как сеть из «дискретных автоматов» — элементов, способных пребывать всего в трех состояниях, переходы между которыми подчиняются определенным правилам.

Сегодня известно большое число возбудимых сред небиологического происхождения, в основе которых лежат простые физические и физико-химические механизмы. Как правило, они описываются не на языке дискретных автоматов, как в модели Винера — Розенблюта, а посредством систем дифференциальных уравнений в частных производных диффузионного типа. Наиболее изученным примером их служит среда с химической реакцией Белоусова — Жаботинского.

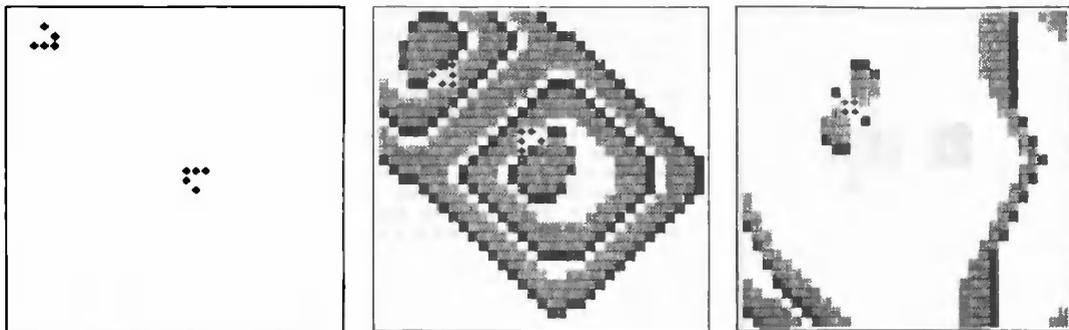
В самое последнее время усилился интерес к рассмотрению процессов в однородных сетях, состоящих из дискретных клеточных автоматов. Дело в том, что при заданном алгоритме работы отдельного элемента — примитивного компьютера — матричный процессор можно рассматривать в качестве своеобразной физической

среды, как искусственно сконструированную сеть из клеточных автоматов. На этом объекте очень удобно «экспериментально» изучать различные эффекты самоорганизации — образование структур, их взаимодействие между собой и т. д.⁹ Отметим любопытное изменение в подходе: вычислительная машина рассматривается в качестве своеобразной нелинейной среды. Цель не в том, чтобы найти решение какой-то известной задачи, подобрав подходящий алгоритм параллельного расчета. Напротив, «экспериментатор» задает достаточно произвольно некоторый алгоритм («правила игры») и наблюдает, к каким последствиям (в смысле образования структур активности сети) он приводит.

Автоволны и диссипативные структуры — хорошие кандидаты на исполнение роли «образцов», участвующих в работе мозга. В то же время, в существующем сегодня виде теория автоволновых процессов в возбудимых средах далека от объяснения процесса обработки информации в нейронных сетях. Основная трудность в том, что содержательные результаты удаются, как правило, получить, постулировав наличие связей только между ближайшими соседями. В действительности на каждый нейрон обычно приходят сигналы от тысяч других нейронов, находящихся на значительном удалении от него. Нейронная сеть — не решетка с регулярным расположением узлов, а чрезвычайно сложная структура. По-видимому, топология ее связей не случайна и играет фундаментальную роль в работе мозга.

⁸ Виннер Н., Розенблют А. Математическая формулировка проблемы проведения импульсов в сети связанных возбудимых элементов, в частности в сердечной мышце // Кибернетический сборник. Вып. 3. М., 1961. С. 7—42.

⁹ Wolfram S. // Rev. Mod. Phys. 1983. Vol. 55. P. 601—638. См. также труды конференции по клеточным автоматам, опубликованные в специальном выпуске журнала: Physica. 1984. Vol. 10D. № 1.



Пример трансформации структур в сети из клеточных автоматов, отвечающей комбинации математических игр «Жизнь» и модифицированной модели Винера — Розенблюта. Два «паруса», сталкиваясь, образуют устойчивую структуру (квадрат) и одновременно порождают асимметричный пейзажер в виде «бабочки».

СПИНОВОЕ СТЕКЛО И МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПАМЯТИ

Способность к обучению, свойственная уже животным, стоящим на низких стадиях эволюционного развития, предполагает, что в мозге хранится некоторый набор образов-эталонов, с которыми сравниваются, по мере необходимости, текущие образы. Эти эталоны, в свою очередь, возникают в процессе обучения. Для записи и длительного хранения образов в мозге должен иметься какой-то механизм долговременной памяти. Кроме того, для обработки информации необходима и кратковременная память, позволяющая задерживать на небольшое время текущий образ.

Явления, лежащие в основе этих двух типов памяти, скорее всего различны. Краткосрочная память вполне может быть реализована на базе автоволновых процессов (такая идея выдвигалась ранее И. М. Гельфандом). Для надежного длительного хранения информации требуются молекулярные механизмы. Данные нейрофизиологов не позволяют пока дать однозначного ответа на вопрос о природе длительной памяти. Например, согласно некоторым представлениям долговременное хранение информации в мозге связано с записью ее в структурах нуклеиновых кислот нервных клеток. Из экспериментов, однако, известно, что процесс обучения сопровождается установлением новых синаптических контактов между нейронами и модификацией уже имевшихся синаптических связей. Установлено также, что память об отдельных событиях не локализована в отдельных нейронах или больших группах

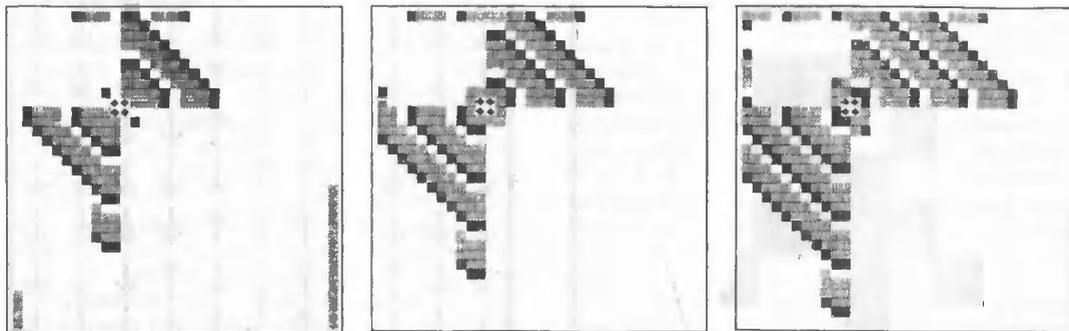
нервных клеток. Хранящиеся в памяти образы не теряются, а лишь как-будто тускнеют при повреждениях отдельных участков головного мозга.

Модели ассоциативной распределенной памяти неоднократно обсуждались в работах специалистов по теоретической нейрофизиологии¹⁰. В последнее время эти вопросы привлекли также внимание физиков-теоретиков.

Анализ нейрофизиологических данных, предпринятый Г. С. Бридли и Д. Марром, сыграл важную роль в формулировке тех принципов, на которых должна базироваться теория ассоциативной памяти. В то же время, с точки зрения физики, их подходы чрезмерно перегружены деталями из-за стремления учесть всю сложность устройства человеческого мозга. В результате эти работы оказались в значительной степени описательными, хотя в них и используется математическая символика. Как хорошо известно физикам, всякое существенное продвижение в области теории всегда связано с рассмотрением вначале довольно простых (но содержательных) моделей. Лишь после того, как отточена интуиция и накоплена уверенность с помощью решения таких упрощенных задач, имеет смысл переходить к постепенным обобщениям, учитывающим сложную структуру реальных систем.

В последнее время в кругах физиков

¹⁰ Подробный обзор таких работ дан в статье: Думин-Барковский В. Л. Нейронные схемы ассоциативной памяти // Моделирование возбудимых структур. Пушино, 1975. С. 90—141.



оживленно обсуждается модель ассоциативной памяти, основывающаяся на свойствах определенного класса магнитных кристаллов — так называемых спиновых стекол. Эта простая модель базируется на идеях, высказывавшихся ранее Бридли и Марром, и, как сегодня кажется, может улавливать наиболее существенные особенности нейронных механизмов памяти, хотя она отнюдь не претендует на непосредственное объяснение каких-либо нейрофизиологических эффектов. Чтобы рассказать о ней, придется совершить небольшой экскурс в физику магнитных явлений.

Атомы, из которых состоят все тела, имеют специфическую квантовую характеристику: собственный магнитный момент, или спин. Рассмотрим атомы, закрепленные в определенных узлах решетки. Будем для простоты считать, что спин S_i отдельного атома может принимать всего две ориентации — вверх $S_i = +1$ и вниз $S_i = -1$.

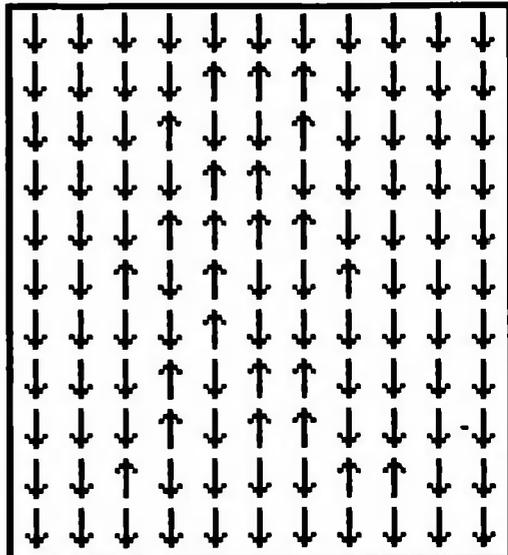
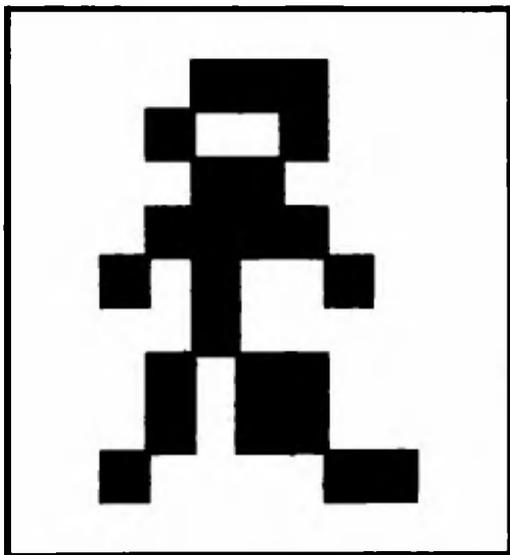
Энергия системы спинов зависит от их ориентации относительно друг друга. Для двух отдельно взятых спинов S_1 и S_2 энергию взаимодействия между ними (его называют обменным) можно записать как $E = J_{12}S_1S_2$. Если коэффициент J_{12} отрицателен, самой низкой энергией обладает состояние, для которого ориентации двух спинов совпадают, тогда как при положительном J_{12} самую низкую энергию будет иметь состояние с противоположно направленными спинами. Чтобы найти полную энергию системы, нужно просуммировать энергию обменного взаимодействия по всем парам спинов. В ферромагнитных кристаллах все коэффициенты J_{ij} отрицательны, благодаря этому устойчива лишь одна, очень простая конфигурация спинов — все спины направлены в одну сторону. В антиферромагнетике все J_{ij} положительны, из-за чего в устойчивом состоянии спины антипараллельны.

Спиновое стекло соответствует ситуации, когда для разных пар спинов коэффициенты J_{ij} оказываются случайными как по величине, так и по знаку. Для него имеется много различных пространственных картин ориентации спинов — каждая из них является устойчивой и отвечает минимуму энергии системы. Иными словами, при заданных коэффициентах J_{ij} спиновое стекло как бы хранит в памяти большое число определенных пространственных картин. Всякая начальная картина взаимной ориентации спинов в решетке с течением времени превращается в одну из устойчивых картин, отвечающих минимуму энергии, а именно в ту, наиболее близкую к которой она является. В этом смысле спиновое стекло обладает не только памятью, но и способностью к распознаванию образов.

Все это замечательно, но, к сожалению, в спиновом стекле сам набор хранящихся картин-образов является случайным. Неплохо было бы уметь так выбирать коэффициенты J_{ij} для системы спинов, чтобы устойчивыми оказались не случайные, а некоторые вполне определенные картины, которые нам хотелось бы сохранить в памяти в качестве образов-эталонов. Оказывается, это возможно.

Пусть нам необходимо записать образ, характеризующийся определенной ориентацией спина $S_j = \xi_j$ для каждого узла j решетки. Выберем коэффициенты J_{ij} так, чтобы $J_{ij} = -\xi_i \xi_j$. Нетрудно убедиться, что записанная спиновая конфигурация будет автоматически отвечать минимуму энергии, т. е. являться устойчивой притягивающей пространственной картиной. Действительно, для всякой наугад выбранной пары спинов энергия обменного взаимодействия при этом равна $E = J_{ij}\xi_i\xi_j = -\xi_i\xi_j^2 = -1$, т. е. достигает наименьшего возможного значения.

Полученная таким путем система, однако, не способна распознавать образы. Она



Картина активности нейронной сети (слева) и соответствующая ей спиновая конфигурация (справа). Каждому активному элементу сети (обозначен черным) сопоставлен спин, направленный вверх, а каждому элементу, находящемуся в состоянии покоя, — спин, направленный вниз.

хранит в своей памяти всего одну картину, к которой эволюционирует с течением времени любая начальная спиновая конфигурация. Как показано в работах Дж. Хопфилда¹¹, этот недостаток можно устранить. Допустим, что нам хотелось бы записать M различных образов, каждый из которых характеризуется своим набором ориентаций спинов $\xi_i^{(m)}$, где $m=1, 2, \dots, M$. Выберем для этого коэффициенты J_{ij} в виде

$$J_{ij} = - \sum_m \xi_i^{(m)} \xi_j^{(m)},$$

т. е. как сумму коэффициентов, построенных ранее для записи одного образа. Тогда для не слишком большого числа записанных картин можно гарантировать, что все они окажутся устойчивыми конфигурациями этого искусственно сконструированного спинового стекла, т. е. будут отвечать минимуму энергии. Такая система осуществляет автоматическое распознавание образов по их близости к той или иной из записанных картин.

Модель Хопфилда допускает целый ряд обобщений¹² и является для физикатеоретика чрезвычайно интересным объек-

том. Важно, что ее можно, как показал сам Дж. Хопфилд, переформулировать на языке нейронных сетей.

Когда суммарный потенциал, создаваемый на нейроне входящими по дендритам от синапсов импульсами возбуждения и торможения, превышает пороговый уровень, нейрон испускает импульс возбуждения, распространяющийся от него по аксону к другим нервным клеткам. Если поддерживать этот потенциал примерно постоянным, нейрон будет генерировать частую периодическую последовательность импульсов возбуждения, разделенных короткими интервалами рефрактерности, — он будет находиться в «активном» состоянии. При потенциале, не превышающем пороговый уровень или имеющем обратную полярность, нервная клетка сохраняет состояние покоя. Будем характеризовать состояние отдельного нейрона с номером j дискретной переменной S_j , присвоив ей значение $+1$, если нейрон активен в рассматриваемый малый промежуток времени, и значение -1 , если он находится в состоянии покоя.

Как уже отмечалось выше, нейроны связаны друг с другом посредством синапсов, которые делятся на тормозящие и возбуждающие. Пусть есть всего два нейрона, связанные через тормозящий синапс. Тогда, если первый нейрон активен ($S_1 = +1$), генерируемый им сигнал преобразуется в си-

¹¹ Hopfield J. J. // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 1982. Vol. 79. P. 2554—2559; Ibid. 1984. Vol. 81. P. 3088—3095.

¹² Веденов А. А., Левченко Б. Б. // Письма в ЖЭТФ. 1985. Т. 41. С. 328—330; Amit D. J., Gutfreund H., Sompolinsky H. // Phys. Rev. 1985. Vol. A32. P. 1007—1015.

напсе в сигнал торможения для второго нейрона и он будет находиться в состоянии покоя ($S_2 = -1$). Ситуация меняется, когда нейроны связаны через возбуждающий синапс. Тогда активность первого нейрона вызывает (при достаточно низком пороге) активность второго, и реализуется состояние $S_2 = S_1 = +1$. Удобно характеризовать синаптическую связь некоторым коэффициентом J_{12} , приписывая ему значение 1, если синапс тормозящий, и -1 для возбуждающегося синапса. Далее можно формально построить величину $E_{12} = J_{12} S_1 S_2$ и убедиться, что возможные устойчивые картины активности системы из двух нейронов действительно отвечают минимуму этой величины. Нетрудно также проверить, что для системы, состоящей из большого числа нейронов, устойчивые картины активности будут отвечать минимуму величины, получаемой путем суммирования значений E_{ij} для всех пар нейронов (предполагается, что каждый нейрон связан в сети со всеми другими).

Итак, аналогия со спиновым стеклом вполне очевидна. Чтобы записать образ, характеризующийся активностями нейронов ξ_i , необходимо каким-то способом сформировать картину синаптических связей, характеризующихся коэффициентами $J_{ij} = -\xi_j \xi_i$. Если мы хотим записать M различных образов, система синаптических связей должна характеризоваться коэффициентами, получаемыми путем суммирования соответствующих коэффициентов для всех этих образов. (Заметим, что в результате коэффициенты J_{ij} будут принимать не только значения $+1$ или -1 . Синаптическая связь между нейронами должна характеризоваться не только типом, но и своей «силой».)

ПЕРСПЕКТИВЫ

Хотя здесь уже довольно много говорилось о том, как устроен (или может быть устроен) мозг, необходимо вновь подчеркнуть, что все эти вопросы привлекают физиков в первую очередь с точки зрения практических приложений. Не ожидая полного решения проблемы мозга (что вряд ли осуществимо в ближайшее время), можно ставить задачу построения таких устройств для обработки информации, в которых были бы воплощены некоторые из известных или кажущихся правдоподобными принципов работы мозга. Какими же общими чертами должно обладать подобное гипотетическое устройство, условно именуемое биокомпьютером?

Прежде всего, оно будет не цифровым вычислительным, а универсальным аналоговым. В его основе будет лежать высококоразвитая способность к оперированию с образами — их распознаванию, сравнению друг с другом, трансформации и порождению. Все эти операции должны реализовываться как некоторые физические процессы, протекающие в довольно однородной сети, составленной из простых элементов.

Насколько мы близки сегодня к решению этой задачи? Трансформацию образов, взаимодействие между ними и порождение новых образов можно осуществить, воспользовавшись явлениями самоорганизации в распределенных возбудимых средах. Здесь нет непреодолимых трудностей, хотя и необходимо выполнить большой объем специальных теоретических исследований. Распределенное хранение информации и автоматическое распознавание образов можно реализовать на основе систем типа спинового стекла или иных моделей ассоциативной памяти¹³. Необходимо, однако, отметить, что все предлагающиеся сегодня модели ассоциативной памяти являются специализированными в том смысле, что используемые в них системы не способны к одновременному выполнению каких-либо иных функций, кроме распознавания образов. Между тем в обсуждаемом сейчас гипотетическом устройстве (как и в мозге) не должно быть никаких особых областей, выделенных исключительно для этой цели. Образы в мозге, по-видимому, не только хранятся и распознаются, но и обрабатываются в одних и тех же участках нейронной сети. Необходим поэтому синтез моделей возбудимых сред с моделями ассоциативной памяти.

В настоящее время исследования по всем этим направлениям еще только разворачиваются, а частью даже находятся лишь на стадии подготовки задач. Удастся ли создать биокомпьютеры, покажет будущее.

Есть еще одна сторона в подходе, развиваемом физиками. Если работа мозга связана с волновыми процессами в некоторой распределительной системе, то почему бы не использовать при ее экспериментальном изучении примерно те же методы, что и при исследовании сложных волновых процессов в сильно нелинейных

¹³ Герзон С. И., Михайлов А. С. // Доклады АН СССР. 1986. Т. 291. № 1. С. 228—230.

неравновесных средах, например в тех, где имеет место гидродинамическая турбулентность. Как выяснилось в последние годы, турбулентным течениям жидкости при-суща гораздо большая регулярность, чем это предполагалось ранее. В частности, турбулентное течение, при всей своей кажущейся сложности, может обладать малым числом эффективных степеней свободы, т. е. описываться системой обыкновенных дифференциальных уравнений с небольшим числом переменных. Существуют методы, позволяющие по данным последовательной регистрации какой-либо величины (например, скорости течения) в одной и той же точке экспериментально установить, какова эффективная размерность турбулентного режима, т. е. какого числа независимых переменных требует его аналитическое описание. Недавно эти методы были использованы¹⁴ для обработки электроэнцефалограмм, записанных при

бодрствовании человека и на различных стадиях его сна. Оказалось, что бодрствование и сопровождающийся сновидениями так называемый быстрый сон являются подлинно сложными процессами, тогда как на стадии так называемого глубокого сна в мозге (точнее, в некотором его отделе) структуры активности не являются слишком сложными — их динамику можно описать всего пятью независимыми переменными. Этот пример свидетельствует, что сотрудничество физиков и нейрофизиологов может быть плодотворным.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Дуин-Барковский В. Д. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В НЕЙРОННЫХ СТРУКТУРАХ. М.: Наука, 1978.

Николис Г., Пригожин И. САМООРГАНИЗАЦИЯ В НЕРАВНОВЕСНЫХ СИСТЕМАХ. М.: Мир, 1980.

Кринский В. И., Михайлов А. С. АВТОВОЛНЫ. М.: Знание, 1984.

¹⁴ Babloyantz A., Salazar J. M., Nicolis C. // Phys. Lett. 1985. Vol. 111A. P. 152—154.

НОВОСТИ НАУКИ

Психология

Понимание детьми логической необходимости

Американский психолог С. А. Миллер (S. A. Miller; Университет штата Флорида), обследовав студентов 19—20 лет и детей 6—9 лет, установил, что способность проводить различие между логически истинными и эмпирически истинными суждениями появляется уже у дошкольников.

Исследователя интересовал вопрос, каким образом дети начинают понимать, что при изменении формы тела сохраняются его основные физические свойства — масса, объем, количество частей и др. (например, количество воды не меняется при переливании из бутылки в стакан; вес пластилинового шарика не меняется при

сплющивании). В экспериментах использовались задачи четырех типов: 1 — вопросы логического характера («всегда ли $1+1=2$?», «являются ли все черные кошки черными»); 2 — вопросы эмпирического характера с очевидным ответом («горит ли сейчас свет в этой комнате?»); 3 — вопросы, точный эмпирический ответ на которые очень труден («сколько кошек в нашем городе?»); 4 — задачи на сохранение основных физических свойств (эти задачи не проговаривались, а предъявлялись в конкретной, практической форме: переливали воду на глазах у испытуемого, сплющивали шарики и т. д.).

Дети, как и взрослые, одинаково уверенно отвечали на вопросы первого и второго типов; однако оказалось, что большинство из них ясно понимает логически обязательный характер положительных ответов в первом случае и эмпирический, необязательный — во втором. Так, дети правильно

отвечали на дополнительные вопросы: «всегда ли твой ответ «да» будет правильным?» («да» — в случае логической истины, «нет» — в случае эмпирической), «могу ли я что-то сделать, чтобы твой ответ стал другим?» («нет» — в первом случае, «да» — во втором). Дальнейший анализ показал, что дети, как правило, воспринимают сохранение основных физических свойств тоже как логически необходимое и обязательное, не могущее измениться никогда и ни при каких обстоятельствах. У тех (немногочисленных) детей, у которых не сформировалось понятие логической необходимости, не было и понимания сохранения физических свойств.

Таким образом, большинство детей уже в шестилетнем возрасте имеет представление о логически необходимой истине (в отличие от эмпирической).

Developmental Psychology. 1986. Vol. 22. № 1. P. 3—18 (США).

УСАДЬБА ЛОБАЧЕВСКОГО СЛОБОДКА /ШТРИХИ К ПОРТРЕТУ УЧЕНОГО/

Ю.И.Матвеев

ЕСТЬ в Чувашии небольшой городок, расположенный в живописном месте на берегу Волги, — районный центр Козловка, примечательный в историческом плане лишь тем (если иметь в виду установленные исторические факты, а не легенды о пребывании в этих местах Разина или Пугачева), что здесь когда-то находилась усадьба знаменитого математика, создателя неевклидовой геометрии, а при жизни более известного сперва в качестве ректора Казанского университета, а потом в качестве помощника попечителя Казанского учебного округа, действительного статского советника, заслуженного профессора Казанского университета Николая Ивановича Лобачевского (1792—1856).

Биографической литературы о Лобачевском немного. Но, как это ни странно, бытует некий его стереотипный образ — далекого от мирских забот чудака, который корпит над своими книгами и бумагами. Помимо того, что подобный образ ученого вообще был свойствен художественной и мемуарной литературе недавнего прошлого, здесь, на наш взгляд, сыграло роль еще одно обстоятельство. Недооценка современниками трудов Лобачевского при его жизни и быстрое их признание после смерти привели к тому, что многие из лично знакомых с ним стали испытывать вину перед памятью ученого. Подлинные черты Лобачевского в их воспоминаниях стали уступать некоему идеальному изображению.

О стойкости возникшего стереотипа свидетельствует тот факт, что спустя почти сто лет после выхода в свет первой биографии Лобачевского¹ вышла книга в серии «Жизнь замечательных людей», которая с небольшими вариациями воспроизводит прежние его характеристики². И это несмотря на то, что за указанный промежуток времени появились две, с нашей точки зрения, прекрасные работы о нем: математика В. Ф. Кагана (1869—1953), который начал популяризировать наследие Лобачевского еще в 90-е годы XIX в.³, и науковед Л. Б. Модзалевского (1902—1948)⁴. Модзалевский при этом отметил, что некоторые сведения, используемые биографами Лобачевского, не соответствуют тем материалам, которые ему удалось собрать. Каган во 2-м издании своей книги, осуществленном в 1949 г., учел все собранное Модзалевским, тем более что книга последнего поставила ряд вопросов, на которые нет ответа в им же опубликованных документах, стимулируя исследователей на поиски новых. На это обстоятельство обратил внима-



Юрий Игнатьевич Матвеев, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Всесоюзного Центрального научно-исследовательского института охраны труда. В 1963 г. окончил Московский авиационный институт им. Серго Орджоникидзе. Занимается проблемами вибродозиметрии, историей естествознания.

¹ Янишевский Э. П. Историческая записка о жизни и деятельности Николая Ивановича Лобачевского. Казань, 1868.

² Колесников М. С. Лобачевский. М., 1965.

³ Каган В. Ф. Лобачевский. М., 1944.

⁴ Модзалевский Л. Б. Материалы для биографии Н. И. Лобачевского. М.; Л., 1948.



НИКОЛАЙ ИВАНОВИЧ ЛОБАЧЕВСКИЙ
20.XI[1.XIII] 1792 — 12 (24). II 1856

Портрет хранится в Государственном музее Татарской АССР. Подписи художника нет. В свое время портрет был приобретен у внучатого племянника Н. И. Лобачевского — Бориса Петровича Ильина, который получил его из собрания И. Е. Великопольского. Время написания портрета можно ориентировочно установить по изображенным орденам, так как даты награждений Лобачевского известны из его формулярных списков. На орденской ленте на шее находится орден св. Анны 2-й степени, награждение которым произошло 2 июня 1836 г. Следующий более высокий орден св. Анны 1-й степени, «короной украшенный», Лобачевский получил 19 октября 1840 г., причем на портрете этого ордена еще нет. Таким образом, время создания портрета падает на интервал 1836—1840 гг. Остальные два знака отличия — орден св. Владимира 4-й степени и знак беспорочной службы в течение 20 лет — относятся к более ранним годам: 1823 г. и 1835 г. Из переписки Лобачевского с Великопольским известно, что художник Л. Д. Крюков заканчивал в январе 1839 г. портреты маслом Лобачевского и его жены для отправки Великопольским в Москву. Весьма вероятно, что в письме упоминается именно этот портрет, и тогда его дата — 1839 г., художник — Л. Д. Крюков.

ние и С. И. Вавилов в предисловии к труду Модзалевского.

Лобачевский — уникальное явление в русской и мировой науке и культуре, поэтому хотелось бы, пусть по крупицам, дополнить известное о нем.

Судьба Лобачевского интересна тем, что в ней преломились все те проблемы, с которыми жизнь в любое время сталкивает ученого, а жизнь Лобачевского складывалась не только из руководства университетом, просветительской деятельности и трудов по неевклидовой геометрии. Это был живой и энергичный человек, умевший за себя постоять, интересующийся всем: философией, литературой, сельским хозяйством, которым он занимался — и весьма успешно — в своей усадьбе Слободка, с которой мы и начали рассказ.

История приобретения этого имени Лобачевским весьма примечательна. После женитьбы в 1832 г. на Варваре Алексеевне Моисеевой (1812—1855), двоюродной сестре попечителя Казанского учебного округа М. Н. Мусина-Пушкина, Лобачевский получил за ней 47 крепостных в Старицком уезде Тверской губернии, 39 — в Сычевском уезде Смоленской губернии, 139 — в Спасском уезде Казанской губернии (имение Полянки) и трехэтажный дом в Казани на Б. Проломной улице (ныне ул. Баумана). Однако ввиду большой занятости по работе Лобачевский не мог принимать деятельного участия в управлении деревнями, находившимися в Смоленской и в Тверской губерниях. Поэтому он обратился с просьбой к И. Е. Великопольскому (сводному брату жены), чтобы тот помог ему продать эти деревни. Одновременно Лобачевский подыскивал подходящее имение в окрестностях Казани. Как известно, Великопольский продал деревни, но полученные от продажи деньги проиграл в карты.

Легкомысленный поступок Великопольского создал дополнительные материальные трудности для Лобачевского при расчете с бывшим владельцем Слободки Карленко, так как к этому времени Лобачевский уже приобрел имение, о чем он еще в 1840 г. писал Вели-

копольскому, что они (Лобачевские) «взошли в долг, купив имение, на устройство которого, вдобавок, еще [он] принужден тратиться»⁵. В 1844 г. Великопольскому пишет уже жена Лобачевского, что «мужу хочется продолжать устройство в новом имении, приготовить здесь приют для постоянного пребывания...»⁶.

В приобретенной Лобачевским Слободке было 1000 десятин земли (1 десятина = 1,09 га), мельница и сотня крестьян. Усадьба находилась в 50 верстах от Казани в Чебоксарском уезде, на правом берегу Волги, на самом склоне, верстах в пяти от границы Свяжского уезда, выше деревни Слободка, позади гумен. В книге Модзалевского дано несколько названий усадьбы: Слободка, Беловолжская слободка и т. д.⁷. Последнее название может ввести в заблуждение тех, кто захочет посетить место усадьбы Лобачевского. Дело в том, что к Козловке примыкает село Беловолжск, которое находится с противоположной стороны от усадьбы. Сама Козловка расположена в низине, Беловолжск на горе, но только слева от Козловки, если стать лицом к Волге, а имение Лобачевского на горе справа. Барский дом, видневшийся с Волги, был деревянным. Когда стоишь летом на площадке бывшего дома и смотришь вдаль через Волгу на марийский берег, открывается удивительная картина: синева Волги, до самого горизонта зелень холмов, покрытых лесом, и голубое небо с легкими облачками. Необыкновенная тишина кругом, ясные и чистые дали.

В усадьбу Лобачевский приезжал с семьей только летом. Там он отдыхал и принимал непосредственное участие в управлении хозяйством. Им были построены дом, флигель, каретник, конюшня, каменная рига, овчарня и теплицы. На площадке меж двух гор и оврагов, покрытых лесом, разбит сад. Лобачевский вставал по утру рано, до 7 часов гулял по саду, в 8-м

пил чай, затем уединялся в кабинет, где занимался до 12.

В Слободку Лобачевский всегда привозил 7—8 студентов разных факультетов, обычно из числа бедных, но успевающих в учебе. Иногда в гости к нему приезжали казанские знакомые. Здесь в 1854 г. в качестве домашнего медика жил Н. И. Розов, ставший в дальнейшем директором медицинского департамента Министерства внутренних дел. «Нередко вечером Лобачевский собирал весь свой домашний кружок, и, чередуясь с Розовым, читал вслух «Вечера на хуторе» и «Миргород» Гоголя. Лобачевскому нравился юмор Гоголя, и он от души хохотал над остротами казака Дороша. В минуты светлого расположения духа природный юмор просыпался в Лобачевском, и он поражал слушателей своим метким остроумием. Насмешливость была, кажется, одной из существенных черт его характера, но он постоянно давил ее своим серьезным складом ума»⁸. В Слободке к Лобачевскому возвращались здоровье и веселость.

В начале 70-х годов дом был куплен у сыновей Лобачевского козловским купцом С. Т. Забродным для постоянного двора и поставлен на берегу Волги под базарной площадью. Позже дом был перенесен на межу, отделяющую землю, принадлежавшую Забродину, от бывшего Комаровского винокуренного завода Мясниковых. Пахотная земля, принадлежавшая Лобачевскому, еще ранее была продана его сыновьями землевладельцам Мясниковым; к ним же перешел фруктовый сад, в котором привлекали общее внимание сибирские кедры. Кроме пахотной земли Лобачевскому принадлежали также сеньные покосы.

Сейчас от всей усадьбы остался один дом. Да и его уже давно перевезли из Козловки в деревню Карачево в 12 км от Козловки. Здесь в нем открыли больницу. В этом качестве дом Лобачевского использовался до недавних пор. Сейчас он пострадал от пожара.

О том периоде деятельности Лобачевского, когда он был владельцем Слободки, сохранилось больше всего документов. Постоянное умственное и нервное напряжение, связанное с научной, педагогической (одновременное заведование несколькими кафедрами, чтение курсов по математике, физике, механике и астрономии) и административной работой, привели к преждевременному износу не очень крепкого здоровья ученого, развитию раннего склероза, который явился причиной его слепоты и смерти.

Но это как раз тот самый период деятельности, о котором придумано много всяких историй. Здесь и рассказы о его непрактичности, неумении вести дела в собственном имении, несправедливом отношении к нему высшего начальства (которое будто не ценило его как чиновника), претензии к Министерству духовных дел и народного просвещения, где в нем не разглядели гения и не создали соответствующих условий для его деятельности и т. д. В этом отношении Модзалевский собрал обширный материал, который проливает некоторый свет на реальное положение дел: Лобачевского ценили в упомянутом министерстве, сделали все, чтобы обеспечить его старость. После ухода со службы помощника попечителя Казанского учебного округа Лобачевский лишился столовых денег. Когда Лобачевский перед смертью обратился в министерство с просьбой о предоставлении денежного пособия, его просьба была удовлетворена — 14 января 1856 г. он получил 1500 руб. серебром. Никаких расхождений с новым попечителем В. П. Молотовым не было.

О хозяйственной деятельности Лобачевского почему-то сложилось мнение, что он был непрактичным человеком, который купил себе убыточное имение-игрушку Слободку, усугубившее его и без того тяжелое материальное положение после ухода на пенсию. Будто он был настолько занят своей административной и научной деятельностью, что ему не хватало времени на хозяйственную деятельность и имение в частности (в качестве подтвержде-

⁵ Там же. С. 406.

⁶ Там же. С. 489.

⁷ Там же. С. 699.

⁸ Там же. С. 641.



Дом Лобачевского. До 1886 г. находился в 12 км от Козловки в д. Карачево и использовался в качестве больницы. Пострадал от пожара в 1985 г.

ния обычно приводят рассказ сына о плохих теплицах, неудачном строительстве плотины⁹). Туда, мол, он приезжал в основном как дачник: отдохнуть на природе, покопаться в собственном саду. Этому, по всей вероятности, противоречит его активное участие в Казанском экономическом обществе (в 1844 г. Лобачевский даже был председателем IV отделения Совета экономического общества), многолетнее участие в строительстве Казанского университета, когда он не раз возглавлял строительные комитеты и за свою работу в этой области имел поощрения от высшего начальства. Да и деятельность управляющего имением не была ему безразличной, если в одном

из писем к родственнице жены Ф. Е. Нератовой он в 1845 г. пишет: «Я такого мнения, что у нас хороших управителей нет, что это сословие совсем в России не существует, что люди, которые в таких должностях находятся, обыкновенно бывают люди, ни к чему не способные; по крайности выбирают этот род занятий, где их невежествоazole крестьян не так заметно; а что всего хуже, это бывают обыкновенные люди из разбора бессовестных, бесчестных и предосудительного поведения»¹⁰.

Когда говорят о том, что Лобачевский был не очень хорошим хозяином, то обычно приводят факты о закладах его имения в разные годы в Казанском приказе общественного

призрения. На этом основании, как правило, делается вывод о тяжелом материальном положении Лобачевского. Однако факт самого заклада еще не характеризовал бедственного положения Лобачевского. Первый из них — в 1845 г. — был связан с тем, что Лобачевский обязался поставить Военному министерству 450 кулей муки. Правительству были нужны гарантии, что помещик его не подведет. Заклад и был такой гарантией. Если проследить причины последующих закладов имения, то и здесь оказывается, что получаемые за это деньги Лобачевский использовал для последующей реорганизации имения. Об эффективности его экономической деятельности и соблюдении обязательств перед Казанским приказом общественного призрения можно судить по ве-

⁹ Там же. С. 598.

¹⁰ Там же. С. 502.

личине выделяемых ссуд, которые росли при каждом закладе, по участию в губернской выставке «Сельскохозяйственных произведений и мануфактурных изделий» в 1852 г. и награждению Лобачевского «публичной похвалой за участие в качестве экспонента за предоставленную шерсть и улей»¹¹, доклады в экономическом обществе о проведении опытов с семенами испанского огурца (общество, выдавая семена, требовало отчета о работе с ними), об усовершенствованиях водяной мельницы, позволивших экономить силы при работе на ней и повысить качество помолы. Кроме того, сам факт избрания Лобачевского в качестве председателя IV отделения Совета экономического общества говорит сам за себя. Плохого хозяина на такую работу не выбрали бы.

После отъезда попечителя Казанского учебного округа М. Н. Мусина-Пушкина в Петербург эти обязанности стал исполнять Лобачевский. Надеясь на ближайшее утверждение в этой должности, он отказался заведовать кафедрой, хотя на этот счет было ходатайство университета. Однако на этом посту его не утвердили, и он был вынужден довольствоваться ролью помощника попечителя Казанского округа. Для Лобачевского это оказалось, конечно, тяжелым ударом в чисто моральном и материальном плане. Он лишился ректорской квартиры, жалованья заведующего кафедрой, что было существенным материальным уроном (равносильно потере доходов от всех имений жены). Возможно, Лобачевский переоценил свои возможности занять пост попечителя. Основанием для такого утверждения являются и упоминание его сына о том, что казанское общество надеялось увидеть ученого в роли попечителя, и запоздалая попытка Лобачевского остаться ректором после отказа от кафедры (хотя, согласно уставу университета, ректор должен был заведовать кафедрой).

Трудно разложить по полочкам жизнь такого человека, как Лобачевский. Будучи неор-

динарной личностью и прекрасным зная себе цену¹², он не мог довольствоваться только ролью преподавателя, ибо в те времена в русском обществе талант писателя или ученого ценился менее чина, знатности или богатства. Так, например, должность ректора Лобачевский занимал 6 раз подряд, что вызвало замечание К. Ф. Гаусса о том, что Лобачевский «по-видимому, является постоянным ректором университета»¹³. Деятельность

ученого в качестве ректора фактически пришлась на время попечительства Мусина-Пушкина с 1827 г. по 1845 г. Недаром жена Лобачевского писала Великопольскому, что без поддержки Мусина-Пушкина Лобачевский не мыслил свою работу в университете. Да и первое его произведение по «воображаемой геометрии» вряд ли было бы напечатано в «Казанском вестнике»¹⁴, ибо известно скептическое отношение его коллег к неевклидовым представлениям.

Как и в жизни любого человека, у Лобачевского бывали неудачи. И дело здесь не в чрезмерной деликатности или непрактичности ученого — иной раз обстоятельства оказывались сильнее его. Он многого достиг в чисто социальном плане (в соответствии с таблицью о рангах находился на 3-й ступени), и не его вина, что современники и коллеги зачастую оказывались инертными к новшествам.

О «благополучном» периоде деятельности Лобачевского (до его ухода с поста ректора) сохранилось гораздо меньше документов и свидетельств, чем о «неблагополучном». Не вполне ясно, почему он вдруг стал озлоблен тем, чтобы соответствующие доказательства воображаемой геометрии стали еще более убедительными. Кто были его оппоненты, в беседах с которыми он оттачивал аргументацию? А чувствуется, что у него были активные оппоненты, если в иностранном издании¹⁵ он убрал замечание о механике, все время работал над логической структурой своей геометрии. И, конечно, недаром Лобачевский предпринял попытки — с помощью астрономических наблюдений — обнаружить полученные им результаты в природе.

В те годы, когда Лобачевский активно работал над основами неевклидовой геометрии

¹² Один из предшественников Лобачевского на посту ректора Г. Д. Никольский писал М. Л. Мариничу: «Эти люди (речь идет о Лобачевском и И. М. Симонове — будущем ректоре, сменившем Лобачевского. — Ю. М.) по их блестящим способностям, отважности, щегольству и светским ухваткам знают, как дорогой товар показать» (там же. С. 127). Имеется в виду требование Лобачевским 1200 руб. и оклада ординарного профессора за то, что он возглавлял две кафедры. Иван Михайлович Симонов (1794—1855) — астроном, член-корреспондент Петербургской Академии, с 1846 по 1855 г. — ректор Казанского университета. В 1819—1821 гг. участвовал в кругосветной экспедиции Ф. Ф. Беллинсгаузена и М. П. Лазарева, открывшей Антарктиду, оставил подробное описание этого путешествия. В честь Симонова назван остров в южной части Тихого океана и северо-восточный мыс на о-ве Петра I. Михаил Леонтьевич Магницкий (1778—1844) — русский государственный деятель. В 1810—1811 гг. был сотрудником М. М. Сперанского. После отстранения от службы был сослан в Вологду. В ссылке изменил взгляды, став крайним реакционером. С 1819 г. служил в Министерстве духовных дел и народного просвещения. Попечитель Казанского университета. Проводя ревизию в университете, предложил его закрыть и «торжественно разрушить» университетское здание. Преследовал профессоров, занимаясь доносами и обвинениями их в неблагонадежности.

¹³ Модзалевский Л. Б. Ук. соч. С. 485. Карл Фридрих Гаусс (1777—1855) — крупнейший немецкий математик, директор Геттингенской обсерватории и профессор Геттингенского университета. Гаусс был единственным ученым, который понял новые идеи Лобачевского. По его предложению в 1842 г. Лобачевский был избран членом-корреспондентом Геттингенского королевского общества наук.

¹⁴ Лобачевский Н. И. О началах геометрии // Казанский вестник. Казань, 1829—1830.

¹⁵ Geometrische Untersuchungen zur Theorie der Parallellinien von Nicolaus Lobatschewsky // Kaiserl. russ. wirklich Staatsrathe und ord. Prof. der Mathematik bei der Universität Kasan. B., 1840.

¹¹ Там же. С. 538.

(Каган считает, что это был период с 1823 по 1832 г.¹⁶), кафедра математики имела всего 5 преподавателей. К этому времени из Казани уже уехали учителя Лобачевского: М. Ф. Бартельс, К. Ф. Реннер, Ф. К. Броннер и И. А. Литтров. Но тем не менее, когда Лобачевский в 1826 г. на заседании физико-математической секции докладывал о неевклидовой геометрии, дебаты носили, наверное, весьма острый характер (к сожалению, материалы секции не сохранились), если была создана специальная комиссия в составе профессоров А. Я. Купфера, И. М. Симонова и адъюнкта Н. Д. Брашмана для решения вопроса о публикации работы Лобачевского. Комиссия дала о работе отрицательный отзыв.

Вполне возможно, что на этих заседаниях его самолюбие было задето. Факт тот, что через некоторое время, после того как Лобачевский стал ректором (а это случилось через год после работы комиссии), Купфер (в 1828 г.) и Брашман (в 1831 г.) покинули Казанский университет, а в 1828 г. работа Лобачевского «О началах геометрии» была опубликована в «Казанском вестнике».

К сожалению, о взаимоотношениях Лобачевского с Брашманом и Купфером очень мало известно, особенно по вопросам неевклидовой геометрии. По этому поводу не сохранилось воспоминаний специалистов-математиков (а может быть, они неизвестны). Но судя по тому, что многие приписывали Брашману — совершенно несправедливо — сочинительство пасквиля в «Сыне Отечества»¹⁷, в котором два анонимных автора глумились над Лобачевским, и по тому, что Брашман еще во времена ректорства Лобачевского перешел на преподавание в Московский университет, можно предположить, что их взаимоотношения не были гладкими. Возможно, поводом послужила критическая позиция, занятая Брашманом по отношению к работам Лобачевского в

области геометрии. Поэтому, безусловно, большой интерес представляют архивы, заметки участников того исторического заседания, а также сотрудников кафедры математики. Эти документы позволили бы судить об интеллектуальном климате университета и о ближайшем окружении Лобачевского в первые годы его административной деятельности.

В дальнейшем в университете появились профессор физики Э. А. Кнорр (1805—1879 гг.) и профессор механики и прикладной математики П. И. Котельников (1809—1879 гг.)¹⁸. Лобачевский уважал их знания и прислушивался к их советам. В последующих работах по вообразимой геометрии он целиком сосредоточил свое внимание на убедительности доказательств.

Очень часто в биографии Лобачевского необоснованно большое внимание уделяют столкновениям, имевшим место между ним и М. В. Остроградским¹⁹. Известно, что когда Лобачевский направил свою работу по неевклидовой геометрии («О началах геометрии») в Петербургскую Академию наук, она попала на отзыв к Остроградскому. Последний высказался о ней пренебрежительно и приписал Лобачевскому несуществующие ошибки. Люди, далекие от науки, пытаются даже найти некую таинственную подоплеку в недоброжелательном отношении Остроградского к работам Лобачевского. Этот вопрос интересовал математиков более позднего поколения. Причин находили много.

Здесь и случайное совпадение фамилий Н. И. Лобачевского из Казани и И. В. Лобачевского из Петербурга — математика-дилетанта, который решал задачу о квадратуре круга и своими работами надоедал Остроградскому²⁰. В книге Д. М. Синцова приводится даже такой курьезный факт, что, когда Лобачевский из Казани направил на отзыв в Академию наук свою работу, в это же время Лобачевский из Петербурга опубликовал работу «Геометрическая программа, содержащая ключ к квадратуре неравных луночек (3:4) (1:4) и сегмента, в составе полурастности оных находящегося», и направил ее на отзыв Остроградскому. И раздражающая сжатость в изложении работы, которая для людей, далеких от проблем неевклидовой геометрии, создавала непреодолимые трудности при чтении — в те времена математические работы было принято излагать в более пространной форме. Недаром, когда в Германии была предпринята попытка издать книгу Лобачевского «О началах геометрии», то комментарии по размеру оказались больше самого труда. Все же многие места в «Началах» остались неясными. Лишь А. П. Котельников²¹ смог объяснить текст Лобачевского до конца.

На мнение Остроградского могло повлиять и участие Лобачевского в процессах по делам петербургских и казанских профессоров, когда Магницкий, чтобы изгнать прогрессивных профессоров из Петербургского и Казанского университетов, привлек Лобачевского в комиссию для сличения текстов лекций указанных выше профессоров и студенческих записей. Каган считает, что Лобачевский и Симонов участвовали в этих комиссиях из боязни рассориться с Магницким.

¹⁸ То, что в лице Петра Ивановича Котельникова Лобачевский действительно нашел человека, понявшего значение его геометрических идей, следует из актовой речи Котельникова, произнесенной в 1842 г., в которой он дал высокую оценку математического открытия Лобачевского. Котельников, учившийся в Дерпте (ныне Тарту) у того же М. Ф. Бартельса, что и Лобачевский, был вместе со своим учителем одним из создателей метода подвижного репера.

¹⁹ Михаил Васильевич Остроградский (1801—1862) — геометр, академик Петербургской Академии наук. Постоянный оппонент Н. И. Лобачевского.

²⁰ Синцов Д. М. Николай Иванович Лобачевский. Харьков, 1941. С. 17.

²¹ Интересны и работы математика Александра Петровича Котельникова (1865—1944), сына П. И. Котельникова, связанные с использованием идей неевклидовой геометрии в механике, продолжившие важные линии исследований, начатые Лобачевским.

¹⁶ Каган В. Ф. Цит. соч. С. 194.

¹⁷ Сын Отечества и Северный Архив (раздел «Критика»), 1834, № 41. С. 107—116.

Все это могло, конечно, сыграть какую-то роль в отношениях Остроградского и Лобачевского. Однако основное влияние на такой отзыв могли оказать более простые причины: консервативность по отношению к новым идеям, лежащим вне сферы собственных научных интересов, и предубежденность многих ученых.

В 1992 г. исполнится 200 лет со дня рождения Лобачевского. К этой дате научная общественность придёт не с пустыми руками. Издано собрание сочинений Лобачевского, кроме последнего, шестого тома, который должен содержать литературное наследие ученого — отрывки небольших прозаических и стихотворных произведений на русском, французском и английском языках. К каждой работе даны тщательные и подробные комментарии. Но хотелось бы, чтобы к этому дню был создан музей Лобачевского. Пока ученому отведен лишь уголок в университетском музее; в Казани, на площади поставлен памятник. Есть три пригодных, на наш взгляд, места для музея: г. Горький²², где Лобачевский родился и жил до по-

ступления в гимназию при Казанском университете, Казань, где он проработал большую часть своей жизни, и имение Слободка. Последние два места при современном транспортном сообщении находятся практически рядом — Козловка всего в часе езды на теплоходе «Ракета» от Казани.

Сейчас территория усадьбы в запустении. Земли вокруг нее не используются в сельском хозяйстве, и потому создание здесь музея никому не нанесло бы ущерба. Для этого необходимо по архивным документам, хранящимся в Казанском университете, а возможно и в других местах, восстановить план усадьбы или хотя бы вернуть на место дом или его копию, а остальное воссоздать в духе времени. Усадьба Лобачевского была весьма скромной по размерам, судя по сохранившимся ямам от строений и проложенным дорожкам.

Сохранилась и ректорская квартира в Казани (тоже возможное место для музея), где жил Лобачевский и где недавно была установлена мемориальная доска. Недостаток в предметах, принадлежавших лично Лобачевскому, можно было бы восполнить материалами по истории неевклидовой геометрии и развитию ее идей, по сыграв-

шим важную роль в истории геометрии казанским конкурсам на премию имени Лобачевского, по работам казанских геометров, составляющих ныне одну из выдающихся советских математических школ. Музей мог бы стать местом, где проводились бы чтения имени Лобачевского. Материалы о нем должны храниться либо в архивах Казани, либо у потомков тех людей, которые общались с Лобачевским.

Писем Лобачевского сохранилось мало, да и в литературном плане они не во всем совершенны. Поскольку Лобачевский не был знаменит при жизни, современники могли не придавать его письмам такого значения, как письмам литераторов. Однако в XIX в. бережно относились к любой переписке, и вполне возможно, что у потомков тех, кто общался с Лобачевским, сохранились какие-то документы в семейных архивах.

К сожалению, Модзалевский, начавший сбор материалов о Лобачевском, не успел закончить своих изысканий: он начал свою работу во время войны, это создало трудности в продолжении, а вскоре умер. Продолжить его дело — чрезвычайно важно: ведь Лобачевский был ярчайшим представителем своего времени.

²² Горьковский университет носит имя Лобачевского.

НОВЫЕ КНИГИ

История науки

В. М. Пасецкий. ФРИТЬОФ НАНСЕН. 1861—1930. Отв. ред. Е. И. Толстиков. М.: Наука, сер. «Научно-биографическая литература», 1986. 336 с. Ц. 1 р. 20 к.

Первая книга о Ф. Нансене была издана в России в 1896 г. — через несколько недель после завершения Норвежской полярной экспедиции на судне «Фрам», которая, по словам О. Ю. Шмидта, «послужила образцом для других по своей научной глубине, тщательности снаряжения и богатству научных наблюдений». В дальнейшем о Нансене было написано немало интересных книг,

в которых, как правило, рассматривались его знаменитые полярные экспедиции. Большой интерес представляет «Книга о моем отце» Л. Нансен-Хейер, опубликованная у нас в стране в 1917 г.

Работа В. М. Пасецкого — самая полная научная биография Нансена — путешественника, океанографа и общественного деятеля. В ее основу положены труды ученого, его эпистолярное наследие, изданное в Норвегии в пяти томах, воспоминания современников, советские архивные документы, газетные публикации.

Научные результаты экспедиций Нансена, впервые про-

никшего в околполярный арктический район, были высоко оценены Петербургской Академией наук, которая избрала его своим почетным членом.

Почетный депутат Моссовета, один из организаторов помощи голодающим Поволжья, глава Комиссии по репатриации армянских беженцев в Советскую Армению, Нансен всегда был искренним другом нашей страны. Его связывала многолетняя дружба с полярным исследователем Э. В. Толем, плодотворный обмен научными идеями он вел с ученым и флотоводцем С. О. Макаровым, переписывался и встречался с А. П. Карпинским, П. П. Семеновым-Тянь-Шанским, В. А. Русановым, Н. М. Книповичем, Г. Я. Седовым.



КАВКАЗСКАЯ ЖУЖЕЛИЦА

С. И. СИГИДА,
кандидат биологических наук
Ставропольский педагогический институт

МЫ ПРИВЫКЛИ думать, что самые красивые и крупные насекомые обитают в далеких тропиках. Но и в нашей стране — на Кавказе — есть насекомые, не менее привлекательные своим видом. Такова кавказская жужелица (*Carabus caucasicus*) — один из красивей-

ших видов жестоккрылых (Coleoptera), обитающих в Кавказских горах. Со спинной стороны тело этой 5-сантиметровой жужелицы синее или фиолетовое с металлическим блеском, брюшная же сторона всегда черная с синим отливом; ноги и антенны тоже черные; морщинистой фак-

Кавказская жужелица.

туры переднеспинка, расширенная в середине, значительно уже брюшка; надкрылья крупные зернистые.

Кавказская жужелица в числе 13 видов жестоккрылых внесена в списки «Красной книги РСФСР», входит она и в число охраняемых насекомых «Красной книги СССР». Современный ареал жужелицы — Кавказ и Предкавказье, где она распространяется на север до Ставропольской возвышенности. За 10 лет изучения этого жука мне приходилось встречать его в лесных массивах окрестностей Кисловодска, Ставрополя и в верховьях р. Томузловки, но с каждым годом во всех этих местах жужелицы становится все меньше. Кроме Советского Союза кавказская жужелица обитает только в Северо-Восточной Турции.

Населяет кавказская жужелица леса. Днем она скрывается под опавшими листьями, у основания пней, под камнями и прочими укрытиями. В дневное время ее можно увидеть только после дождя, когда она выбирается из залитых водой убежищ. Активна жужелица ночью, именно в это время она выходит на добычу. Не способная летать и потому добывать высокоподвижных жертв, жужелица питается преимущественно слизнями и наземными брюхоногими моллюсками, которых отыскивает в лесной подстилке, в сырых местах, вдоль ручьев. В ее рацион входят также личинки и гусеницы насекомых, а в неволе она охотно поедает дождевых червей. Личинки жужелицы тоже питаются моллюсками и в их раковинах проводят большую часть жизни. Мне неоднократно встречались сидящие в раковинах моллюсков личинки старшего возраста, ко-



Жужелица поедает дождевого червя.

торые живут обычно в тех же биотопах, что и взрослые жужелицы, но попадают гораздо реже них.

Взрослые жуки выходят из зимовки в апреле, вскоре спариваются и откладывают яйца. Через 1—2 недели из яиц появляются личинки, которые претерпевают несколько линек, а затем превращаются в куколок в специально выстроенной в земле колыбельке. Все развитие жука от яйца до взрослой стадии занимает в общей сложности 3—4 месяца. В середине лета появляются молодые жужелицы.

Массивная нелетающая жужелица, окраска которой не только не скрывает ее от врагов, но даже привлекает их внимание, пожалуй, не смогла бы спастись от любого преследователя, не будь у нее мощного средства защиты. Жужелица, как, впрочем, и другие

крупные жуки родов *Scarabus* и *Calosoma*, в ходе длительной эволюции приобрела способность вырабатывать едкую жидкость в специальных железах, имеющих форму грозди и окруженных мощной мышечной оболочкой. Эта жидкость содержит муравьиную кислоту и хиноны — летучие шестичленные циклические соединения с резким запахом. Железы открываются протоками возле анального отверстия, поэтому при опасности жужелица останавливается и довольно высоко поднимает задний конец брюшка, а затем с силой, на расстояние до двух метров, выбрызгивает пахучую и едкую струю и ослепляет преследователя. Запас жидкости невелик, он скоро исчерпывается, но и тогда жужелица принимает позу угрозы в случае нападения на нее хищника.

Врагов у нее много. Жужелиц охотно поедают насекомоядные млекопитающие (ежи, землеройки, кроты), хищные (барсук, лисица), птицы, рептилии, лягушки и жабы.

В последнее время чис-

ленность этого полезнейшего в лесном и сельском хозяйстве вида значительно сократилась вследствие вырубки лесов и их обработки пестицидами. Немалый урон численности наносят коллекционеры и другие «любители природы», которых жужелица привлекает красотой и размерами. Чтобы сохранить это эндемичное для Кавказа насекомое, прежде всего нужно взять под охрану места его обитания, по возможности ограничить обработку лесных массивов ядохимикатами и строго следить за соблюдением запрета коллекционирования. Пока, к сожалению, никаких мер охраны не существует, вид только внесен в Красные книги.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕМБРАНЫ И ПАТОЛОГИЯ КЛЕТКИ

Ю.А.Владимиров

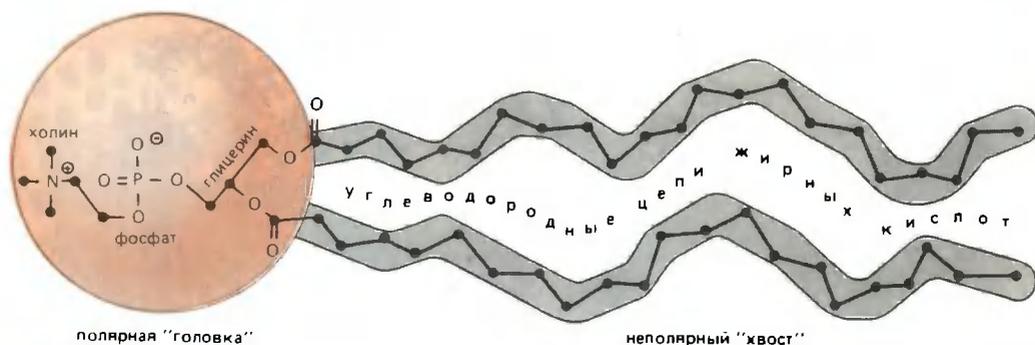


Юрий Андреевич Владимиров, член-корреспондент АМН СССР, биохимик, ученик известного фотохимика, академика А. Н. Теренина. В 1954 г. окончил Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова. Докторскую диссертацию, связанную с изучением влияния ультрафиолетового облучения на ферменты, защитил в 1958 г. Заведует кафедрой биофизики 2-го Московского медицинского института, которая была им организована в 1966 г. Основная тема научных исследований — медицинская мембранология, и в первую очередь изучение механизма свободнорадикального окисления липидов в биологических мембранах. За эти исследования в 1983 г. в числе других был удостоен Государственной премии СССР.

Н АШ ОРГАНИЗМ состоит из живых клеток — это знает каждый школьник. Клетки эти дифференцированы и строго специализированы, т. е. имеют разное строение и выполняют различные функции в разных органах и тканях. Дифференцировка клеток происходит на самых ранних стадиях развития эмбриона, а потом клетки делятся, да и то лишь пока организм растет. В организме взрослого человека большинство клеток, в частности мышечные клетки, клетки головного и спинного мозга уже не делятся, а клетки соединительной ткани и эпителия продолжают делиться, но ограниченное число раз. Неделяющиеся клетки рано или поздно погибают от случайных неблагоприятных обстоятельств. В особо острых ситуациях, например при спазмах сосудов, тромбозах или росте раковых клеток, иногда одновременно погибает огромное количество клеток, что часто заканчивается трагически. Но даже при спокойном течении болезни часть клеток может отмирать. Более того, и в здоровом организме происходит постоянная гибель определенной части клеток, что приводит к постепенному старению. Болезни возраста, т. е. недуги, связанные со старением организма, в конечном счете так или иначе вызваны именно постепенным отмиранием части специализированных и не заменяемых клеток в различных тканях и органах.

ВСЕ КЛЕТКИ УМИРАЮТ ОДИНАКОВО

Каковы же непосредственные причины гибели клеток? Не всегда легко ответить на этот вопрос даже в конкретном случае, но одно несомненно: с клетками дело обстоит так же, как и с живыми существами — они погибают под действием неблагоприятных факторов (или механического повреждения, или отравления химическими веществами, или под воздействием сильных электрических полей, ультрафиолетовой, ионизирующей радиации и т. д.).



Структура фосфолипида — основного компонента липидного слоя мембран. Холин, остаток ортофосфорной кислоты [фосфат] и группы, входящие в сложное эфирное соединение [глицерин], имеют неравномерное распределение положительных и отрицательных зарядов у отдельных атомов, т. е. полярны. Эта часть молекулы («головка») активно связывает молекулы воды, т. е. гидрофильна. Другая часть молекулы, образованная углеводородными цепями жирных кислот (чередующимися группами $-\text{CH}_2-$ или $-\text{CH}-$), отталкивает воду, т. е. гидрофобна. В водных растворах гидрофобные «хвосты» фосфолипидных молекул смыкаются друг с другом, в результате чего самопроизвольно формируется пленка из двух слоев фосфолипидных молекул [липидный «бислой»].

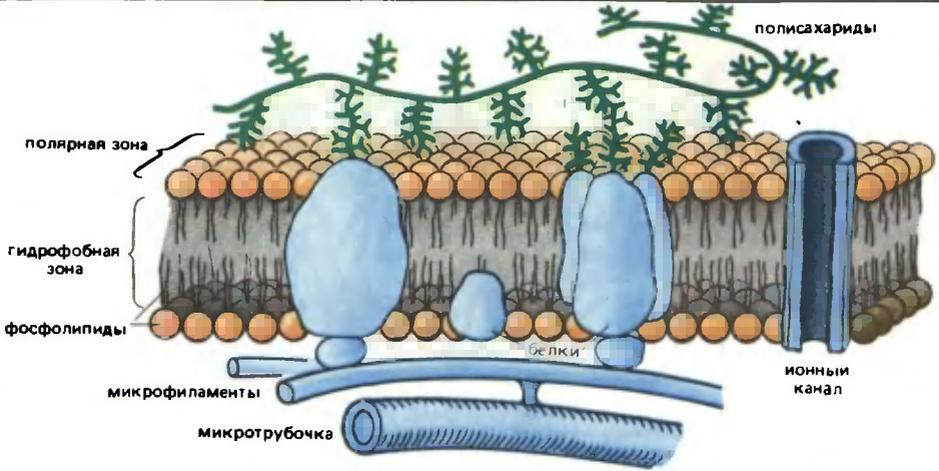
Реакция клеток на неблагоприятные факторы во многом напоминает поведение целого организма: сначала активируются клеточные процессы, клетки возбуждаются, затем каждая из них старается как-то приспособиться к новым условиям, а если это не удается, работа клеточных систем нарушается, что в конечном итоге заканчивается гибелью клетки¹. Врачи хорошо знают, что смерть человека наступает, если необратимо нарушена функция жизненно важных органов: сердца, мозга, печени, почек, желудочно-кишечного тракта, а также систем кроветворения или иммунитета. В живой клетке тоже есть такие жизненно важные системы: в большинстве клеток животных это прежде всего митохондрии, ответственные за энергообеспечение клетки, система поддержания постоянства ионного состава протоплазмы, ферментные системы биосинтеза и катаболизма. Серьезное повреждение любой из них неизбежно приведет к гибели клеток.

Живые клетки нашего организма весьма разнообразны по своему строению, что определяется разнообразием выполняемых ими функций. Но системы, жизненно важные для клетки, одинаковы у всех; поэтому и реакция клеток на повреждающие воздействия почти стереотипна: резко увеличивается проницаемость клеточных мембран, падает потенциал покоя на мембране, в клетку вхо-

дят ионы кальция, а из клетки выходят ионы натрия, увеличивается объем митохондрий и они теряют способность синтезировать основной носитель энергии — аденозинтрифосфорную кислоту (АТФ). Изменяется и внешний вид клетки: она набухает, протоплазма мутнеет, появляются гранулы, которых раньше не было. Естественно предположить, что в основе неспецифической реакции клеток на повреждение лежит какой-то один процесс.

ПЕРВЫМИ ПОВРЕЖДАЮТСЯ БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕМБРАНЫ

Одно время думали, что неблагоприятные факторы прежде всего действуют на клеточные белки, изменяя их форму и свойства. Однако за последние два десятилетия получен ряд доказательств, что в основе необратимого повреждения клеток лежит нарушение функций клеточной и внутриклеточной мембран. Ведь именно мембранные структуры клетки, такие как цитоплазматическая мембрана, отделяющая клетку от внешней среды, мембраны, образующие митохондрии и систему внутриклеточных канальцев и пузырьков (эндоплазматический ретикулум и лизосомы) как раз и обеспечивают жизненно важные функции любой клетки: энергообеспечение, поддержание ионного состава и регуляцию внутриклеточных процессов.



Строение клеточной мембраны. Основу мембраны составляет двойной [бимолекулярный] слой фосфолипидов. Неполарные, гидрофобные участки фосфолипидных молекул, образуемые цепями жирных кислот, обращены внутрь липидного бислоя, формируя сплошную планку — непреодолимый барьер для растворенных в воде ионов и полярных молекул. Полярные гидрофильные группы фосфолипидных молекул покрывают мембрану с обеих сторон и как бы смачиваются окружающим водным раствором. Мембрану пронизывают или к мембране прикреплены молекулы различных белков, которые выполняют функции биокатализаторов или ионных каналов, а также обеспечивают механическую связь мембраны с цитоскелетом [микрофиламентами и микротрубочками]. Снаружи к поверхности мембран прикреплены длинные цепочки полисахаридов.

К настоящему времени накопился поистине огромный экспериментальный и клинический материал, показывающий, что первое событие в цепи нарушений, вызванных действием того или иного неблагоприятного фактора на организм, — это повреждение мембран, и что именно оно приводит к развитию патологического процесса.

Все биологические мембраны построены по единому принципу: они состоят из липидного слоя, в котором имеются белки — это ферменты, располагающиеся внутри мембраны, и рецепторы, «сидящие» на ее поверхности и содержащие, как правило, некоторое количество специфических углеводов.

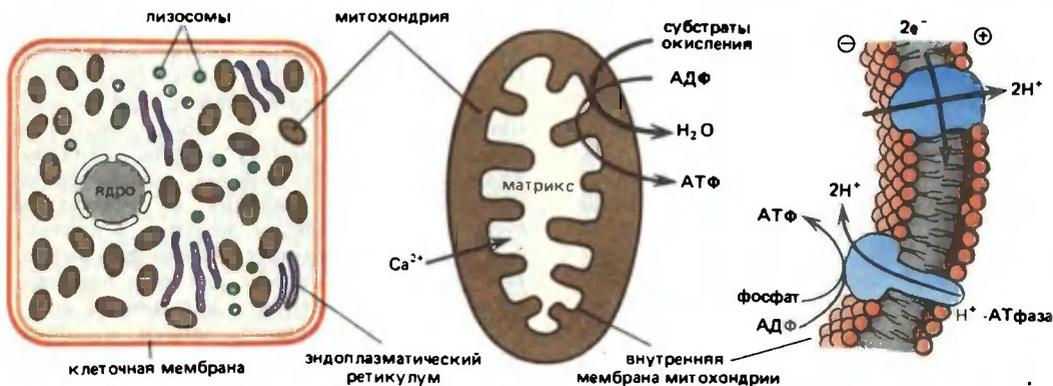
Сегодня имеется множество фактов, говорящих о ключевой роли именно липидного слоя мембран в развитии тяжелых заболеваний печени, сердечно-сосудистой, нервной систем, функций клеток крови, эпителия и других.

Липидный слой мембран, как известно, состоит из двух мономолекулярных пленок фосфолипидов, обращенных друг к другу гидрофобными жирнокислотными хвостами и контактирующих с

окружающей водной средой полярными гидрофильными «головками». Цитоплазматические мембраны содержат также холестерин и гликолипиды, встроенные в липидный бимолекулярный слой (его часто называют бислоем); в мембранах митохондрий, лизосом, эндоплазматического ретикулума и других внутриклеточных структур холестерина мало.

Набор мембранных белков, выполняющих специализированные функции в мембранах, принадлежащих разным внутриклеточным структурам и разным органам, различен. Напротив, липидный бислой — неизменный структурный и функциональный элемент любой мембраны.

Во всех клеточных и внутриклеточных мембранах липидный бислой выполняет две главные функции: барьерную и структурную (матричную). Гидрофобная пленка толщиной всего в 2,5 нм служит непреодолимой преградой для ионов и водорастворимых молекул, благодаря чему мембраны могут регулировать и даже организовывать внутриклеточные процессы. С другой стороны, на этой жидкой пленке размещены основные ферментные си-



Биоэнергетическая система животных клеток. Клетка отделена от окружающей среды цитоплазматической, или клеточной, мембраной. В свою очередь, клеточные органеллы — ядро, митохондрии, лизосомы, эндоплазматический ретикулум — отделены от цитоплазмы внутриклеточными мембранами. В митохондриях внутренняя мембрана осуществляет две функции: перенос Ca^{2+} из цитоплазмы внутрь митохондрий и синтез аденозинтрифосфорной кислоты [АТФ] из аденозиндифосфорной кислоты [АДФ] и неорганического фосфата. АТФ синтезируется за счет энергии, выделяющейся при переносе электронов по дыхательной цепи митохондрий от субстратов к кислороду. Перенос пары электронов по дыхательной цепи сопровождается переносом протонов через мембрану, в результате чего на мембране создается разность потенциалов со знаком «минус» внутри митохондрий и знаком «плюс» в цитоплазме. Под действием этой разности потенциалов протоны могут быть втянуты обратно, т. е. внутрь митохондрий с помощью специального фермента H^{+} -АТФазы. За счет трансмембранной разности потенциалов может осуществляться перенос ионов Ca^{2+} внутрь митохондрий.

стемы клетки. Изменение барьерных свойств мембран, т. е. резкое увеличение их проницаемости, равно как и изменение вязкости и свойств поверхности липидной пленки, т. е. изменение матричных свойств бислоя, безусловно, нарушает работу мембранных структур, дезорганизует жизнедеятельность клетки и приводит к заболеваниям организма.

ЖИЗНЬ, ЭНЕРГИЯ И МЕМБРАНЫ

Когда останавливается сердце, наступает смерть. Сердце гонит кровь по сосудам и тем самым доставляет ко всем клеткам организма кислород и «топливо», т. е. органические соединения, которые окисляются в клетке. Все это нужно, главным образом, для выработки энергии, без затраты которой невозможна сама жизнь. Снабжают клетку энергией митохондрии, в которых при окислении органических веществ, таких как глюкоза или жирные кислоты, одновременно аккумулируется освобождающаяся при окислении энергия в виде аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). Энергия АТФ расходуется

почти на все виды работы, которую совершает клетка, включая движение, ионный обмен, синтез необходимых веществ и т. д. Еще в 60-х годах английский биохимик П. Митчел предположил, что превращение энергии в митохондриях, этих маленьких клеточных электростанциях, начинается с переноса через митохондриальную мембрану ионов водорода, который связан, или, как говорят, сопряжен с окислительно-восстановительными реакциями (т. е. переносом электронов), протекающими в этой мембране. Этот процесс совершенно аналогичен зарядке конденсатора от электрической батареи: химическая энергия превращается в электрическую и запасается в этой форме.

Второй этап трансформации энергии в митохондриях заключается в синтезе АТФ, который сопряжен с переносом протонов через мембраны. Хотя не все детали этого сложного процесса выяснены к настоящему времени, суть его очевидна: это превращение электрической энергии в химическую, т. е. превращение энергии разности потенциалов на мембране в энергию АТФ.

Теория Митчела нашла эксперимен-

тальное подтверждение в работах советских исследователей Е. А. Либермана и В. П. Скулачева, а также многих других. Из нее вытекает важное для нас следствие: митохондрии способны синтезировать АТФ за счет энергии окисления субстратов (окислительное фосфорилирование) лишь в том случае, когда их мембраны непроницаемы для ионов. Повреждение мембран митохондрий неизбежно должно нарушить синтез АТФ, так как через дырявые мембраны протоны будут попадать в митохондрии в обход ферментной системы, синтезирующей АТФ. Митохондрии с поврежденными мембранами, как испорченный аккумулятор, не могут хранить энергию, которую вырабатывает генератор, т. е. окислительно-восстановительные реакции во внутренней мембране. Такие клетки обречены на гибель от энергетического голода.

ПОЧЕМУ НЕДОСТАТОК ЭНЕРГИИ ГУБИТЕЛЕН ДЛЯ КЛЕТКИ?

Рассуждая теоретически, можно предположить, что временное отсутствие синтеза АТФ приведет лишь к временной остановке химических реакций и других процессов, нуждающихся в энергии. Увы, опыт показывает, что переждать энергетический голод большинство клеток нашего организма не в состоянии. Причина здесь заключается в том, что биологические системы находятся очень далеко от состояния равновесия с окружающей средой, поэтому самопроизвольные процессы (т. е. без затрат энергии) всегда противоречат интересам организма и их нужно ограничивать. Больше всего хлопот доставляют химические процессы самопроизвольного окисления компонентов клеток, в особенности ненасыщенных жирных кислот, входящих в состав липидов биологических мембран, а также физический процесс выравнивания концентрации ионов внутри и вне клетки, т. е. самопроизвольная диффузия. К окислению мембранных липидов кислородом мы вернемся несколько позже. Здесь уместно сказать несколько слов о том, как клетка поддерживает постоянство ионного состава в цитоплазме.

По сравнению с межклеточной жидкостью и плазмой крови, клетки содержат сравнительно много калия, мало натрия и крайне мало кальция. Калия в клетках примерно в 10—20 раз больше, чем в

окружающей среде, натрия — в 10 раз меньше, а кальция в 10 тыс. раз меньше, чем в омывающих клетку жидкостях. По законам диффузии, ионы самопроизвольно переносятся в область, где их концентрация ниже, т. е. ионы натрия и кальция входят в клетку, а ионы калия выходят из нее. Увеличение концентрации ионов натрия и кальция в цитоплазме губительно для клетки, поэтому в клеточных мембранах имеются белки-ферменты, так называемые насосы, которые постоянно выкачивают натрий и кальций из клетки. Насос, удаляющий натрий и одновременно накачивающий в клетку калий, представляет собой фермент Na^+ , K^+ -АТФазу. Кальций из клетки удаляет другой фермент — Ca^{2+} -АТФаза. Оба фермента переносят ионы через мембраны одновременно с расщеплением АТФ, т. е. с затратой энергии.

Итак, постоянство ионного состава цитоплазмы обеспечивается, во-первых, низкой проницаемостью клеточной мембраны для ионов, а во-вторых, постоянной работой ионтранспортирующих АТФаз, т. е. ионных насосов. Увеличение проницаемости клеточной мембраны для ионов, равно как и прекращение работы насосов, неизбежно приводит к росту концентрации натрия и кальция в цитоплазме, т. е. изменяет ее нормальный ионный состав. Значит, события, которые разыгрываются в клетке при недостатке энергии и при повреждении клеточной мембраны, почти одинаковы.

Главные из них — это увеличение объема, набухание клетки в результате входа Na^+ и активация гидролитических ферментов в цитоплазме вследствие входа Ca^{2+} . К таким ферментам относятся и фосфолипазы, входящие в состав всех клеточных мембран. Эти ферменты отщепляют свободные жирные кислоты от молекул фосфолипидов, из которых построен липидный слой всех мембран. Благодаря активности фосфолипаз мембраны становятся проницаемы для ионов, в том числе и для Ca^{2+} .

Как мы уже говорили, фосфолипазы входят в состав не только клеточных, но и всех внутриклеточных мембран, включая и митохондрии. Фосфолипаза митохондрий расположена на наружной стороне внутренней мембраны и потому активируется ионами кальция только снаружи, а не со стороны матрикса (внутреннего отсека митохондрий).

Как известно, митохондрии, наряду со способностью синтезировать АТФ за счет

энергии окисления субстратов, могут также накапливать Ca^{2+} за счет высокой проницаемости митохондриальных мембран для этих ионов и разности электрических потенциалов на мембране. Таким способом митохондрии защищают себя от повреждения фосфолипазой, которая, как мы помним, активируется ионами кальция только снаружи. Если в клетках нет кислорода, но есть АТФ, электрический потенциал на мембранах митохондрий сохраняется и они по-прежнему способны поглощать кальций. Но если в клетках нет ни кислорода, ни АТФ, разность потенциалов на мембране падает, ионы кальция выходят в цитоплазму и активируют мембранные фосфолипазы. Клетка попадает в порочный круг, так как поврежденные митохондрии уже не могут накапливать ионы кальция даже при восстановлении снабжения клеток кислородом.

ЧТО ПОВРЕЖДАЕТ МЕМБРАНУ?

Морфологи, изучающие с помощью электронного микроскопа изменения в ультраструктуре различных тканей в патологии, хорошо знают, что один из таких постоянных признаков изменений — набухание митохондрий. Это явление особенно характерно в случае тканевой гипоксии, т. е. при недостатке кислорода в ткани. Еще в конце 70-х годов в нашей лаборатории было показано, что тканевая гипоксия приводит к целому ряду событий в клетке. Как известно, в нормальных условиях митохондрии синтезируют АТФ за счет энергии окисления субстрата кислородом. Значит, в отсутствие кислорода синтез АТФ прекращается и ионные насосы перестают работать. Это влечет за собой увеличение концентрации Ca^{2+} в клетке за счет усиления пассивной диффузии. А как мы уже говорили, ионы Ca^{2+} в свою очередь активируют фосфолипазу, расщепляющую молекулы фосфолипидов. В результате частичного гидролиза в сплошном слое фосфолипидов появляются дефекты и мембрана становится проницаема для ионов, в частности для K^+ , которых очень много в межклеточной среде.

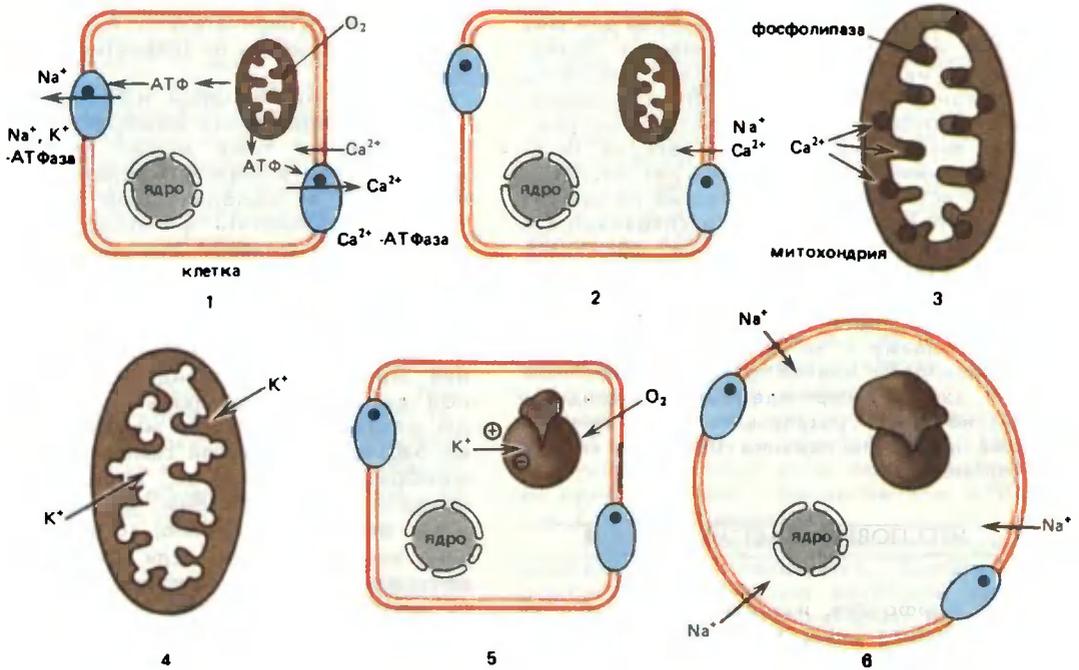
Если восстановить снабжение ткани кислородом, то на митохондриальной мембране вновь возникает разность потенциалов. Но поскольку теперь мембраны митохондрий проницаемы для K^+ , они устремляются внутрь митохондрий, движимые электрическим полем. В митохондриях повышается осмотическое давление и они

набухают. При этом внутренняя мембрана митохондрий растягивается, и синтез АТФ прекращается окончательно. А сама клетка обречена на гибель от энергетического голода.

Итак, митохондрии набухают в результате повреждения мембран. Но и само набухание тоже может повреждать мембраны, хотя никаких морфологических изменений в мембране при этом нет. Так, если поместить митохондрии в гипотонический солевой раствор, где концентрация солей не 150 мМ, как обычно, а ниже, например 90 мМ, то их объем увеличится пропорционально уменьшению концентрации ионов в растворе. Внутренняя мембрана митохондрий, раздуваясь под давлением вошедшей в матрикс воды, разрывает наружную мембрану. Однако барьерные свойства самой внутренней мембраны сохраняются, поэтому митохондрии еще способны к окислительному фосфорилированию, хотя и с меньшей скоростью. Но если снизить концентрацию солей в растворе до 60 мМ, то внутренние мембраны растянутся так сильно, что начнут пропускать ионы. При этом электрический потенциал на мембране падает, и синтез АТФ прекращается, хотя перенос электронов от субстратов на кислород еще продолжается. Заметим, что процесс этот обратим: если сразу же повысить концентрацию солей в растворе до 300 мМ, то митохондрии сожмутся и синтез АТФ восстановится.

Таким образом, механическое (в данном случае осмотическое) растяжение мембран можно рассматривать как особый, независимый от других, механизм нарушения барьерной функции мембран.

Роль такого механизма в патологии очевидна. Мы уже говорили, что при гипоксии мембраны становятся проницаемы для K^+ . Если к таким поврежденным, изолированным в анаэробных условиях митохондриям добавить АТФ, фосфолипиды будут вновь синтезироваться, мембраны снова станут цельными и митохондрии полностью восстановят свои функции. Но если вместо АТФ внести в суспензию кислород, мембраны митохондрий окончательно потеряют свои барьерные свойства и поток катионов, устремившийся внутрь органелл, приведет их к полной гибели. По-видимому, именно этот процесс, т. е. набухание в кислородной среде, лежит в основе известного повреждающего действия кислорода на предварительно ишемизированную ткань.



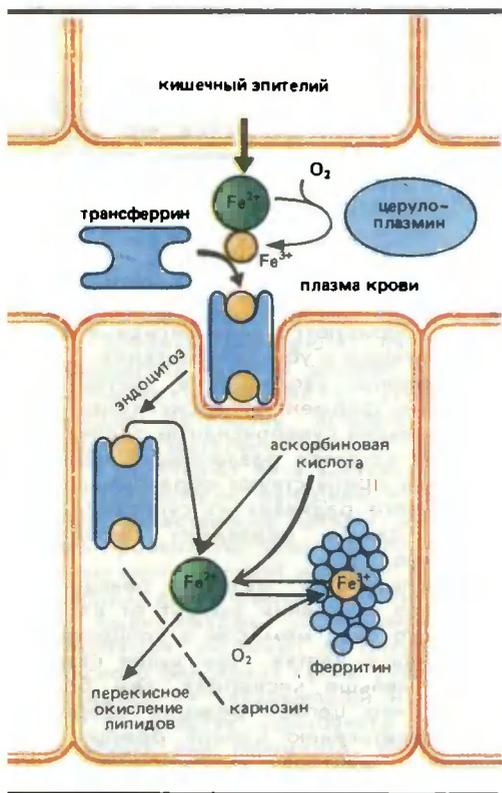
Последовательность событий при повреждении клетки в результате гипоксии.

1. В нормальных условиях митохондрии синтезируют АТФ за счет энергии окисления субстратов кислородом. АТФ расходуется во многих процессах, включая поддержание низкой концентрации ионов Na^+ и Ca^{2+} в результате работы ионных «насосов»: Na^+, K^+ -АТФазы и Ca^{2+} -АТФазы.
2. В отсутствие кислорода АТФ не синтезируется и ионные насосы не работают. Концентрация Na^+ и Ca^{2+} в цитоплазме растет за счет пассивной диффузии этих ионов из окружающего пространства в клетку, где их концентрация ниже.
3. Избыток Ca^{2+} в цитоплазме активирует фермент фосфолипазу, молекулы которой прикреплены к наружной поверхности внутренней мембраны митохондрий.
4. В результате гидролиза фосфолипазой части фосфолипидов в сплошном липидном бислое появляются дефекты, и мембрана становится проницаемой для ионов, в частности для K^+ , которых много в цитоплазме.
5. Если ткани снабдить кислородом, то в результате работы дыхательной цепи митохондрий на их внутренней мембране вновь возникает разность потенциалов со знаком «минус» внутри митохондрий. Поскольку внутренняя мембрана митохондрий теперь проницаема для K^+ , они начинают накапливаться внутри митохондрий, движимые электрическим полем. Осмотическое давление ионов внутри митохондрий повышается, и объем органеллы начинает расти [она набухает]. Это приводит к растяжению внутренней мембраны и окончательной потере способности митохондрий синтезировать АТФ. Клетка обречена на гибель от энергетического голода.
6. Пассивная диффузия Na^+ в клетку при бездействии ионных насосов приводит к росту осмотического давления ионов в клеточном соке и набуханию клетки в целом. Набухшие клетки сдавливают кровеносные сосуды, что усугубляет недостаточное снабжение кислородом данного участка ткани.

ЦЕПНЫЕ РЕАКЦИИ В КЛЕТОЧНЫХ МЕМБРАНАХ

Слова «цепные реакции» вызывают в сознании образ атомного реактора. На самом же деле цепные реакции широко распространены при обычных

превращениях химических веществ. Всякое окисление кислородом воздуха происходит по механизму цепных реакций. В живых клетках по этому принципу (к счастью, не слишком быстро) окисляются кислородом, растворенным в цитоплазме и межклеточной жидкости, ненасыщенные жирные кислоты, входящие в состав

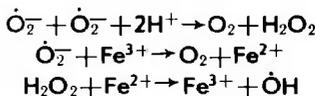


Ферментные системы, защищающие компоненты крови и внутриклеточные структуры от повреждающего действия Fe²⁺. Железо, необходимое для синтеза гемоглобина, цитохромов и других нужд, попадает в плазму крови из кишечного эпителия в восстановленной форме Fe²⁺, но сразу же окисляется до Fe³⁺ ферментом церулоплазмином, а затем связывается белком апотрансферрином с образованием транспортной формы железа: железопротеида трансферрина. Трансферрин разносится током крови по всему организму. Он захватывается клетками способом, напоминающим захват бактерий фагоцитами, т. е. путем эндоцитоза, а затем ионы Fe³⁺ в трансферрине восстанавливаются аскорбиновой кислотой и отделяются от апофермента. Свободное двухвалентное железо нужно для биосинтеза цитохромов, но оно опасно, так как может активировать перекисное окисление липидов. Поэтому излишек Fe²⁺ запасается в клетке в безвредной форме: в комплексе окисленного железа [Fe³⁺] с белком ферритином. Ферритин окисляет Fe²⁺ до Fe³⁺ и связывает образовавшиеся ионы Fe³⁺. Обратный процесс — высвобождение железа из ферритина — также, по-видимому, обеспечивается аскорбиновой кислотой, которая восстанавливает Fe³⁺ до Fe²⁺. Возможно, в клетке существуют специальные соединения (один из которых — дипептид карнозин), которые образуют комплексы с ионами двухвалентного железа. В таком комплексе ионы Fe²⁺ неактивны в отношении перекисного окисления, но доступны для использования в синтезе гема цитохромов или гемоглобина.

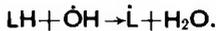
фосфолипидов биологических мембран. При этом в результате разрыва одной связи в молекуле кислорода O=O образуются перекиси — соединения, содержащие группу —O—O—.

Цепные реакции окисления начинаются лишь в том случае, если в системе появляется молекула с неспаренным электроном, так называемый свободный радикал. В живых клетках такими первичными радикалами служат, во-первых, радикалы некоторых токсических веществ, а во-вторых, супероксидный радикал \dot{O}_2^- (или просто супероксид), образующийся при восстановлении молекулы кислорода некоторыми ферментами, например НАДФН-оксидазой лейкоцитов крови.

Сам по себе супероксид не относится к числу особенно активных радикалов. Гораздо опаснее другой свободный радикал — радикал гидроксила OH, образующийся в результате реакции превращения \dot{O}_2^- в перекись водорода (H₂O₂) и последующих реакций, катализируемых ионами металлов переменной валентности, например железа или меди:

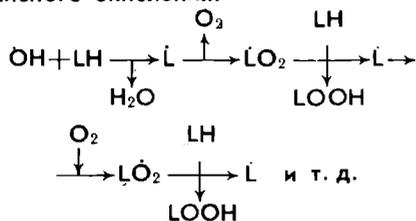


Радикал OH обладает разрушительным действием, поскольку вступает в химические реакции со многими веществами в клетке, включая белки и нуклеиновые кислоты. Но особенно большие повреждения он наносит биологическим мембранам, так как реагирует с липидами, отнимая у молекулы липида (LH) атом водорода с образованием свободного радикала липида (L):



Образующийся при этом свободный радикал липида (L) взаимодействует с растворенным в среде молекулярным кислородом, давая новый свободный радикал — радикал липоперекиси LO₂. В свою очередь радикал LO₂ атакует одну из соседних молекул фосфолипидов LH с образованием гидроперекиси липида LOOH и нового

радикала \dot{L} . Чередование двух последних реакций приводит к цепному процессу перекисного окисления:



Специальные опыты, поставленные в нашей лаборатории, показали, что в биологических мембранах цепная реакция может состоять из десятка и более звеньев. Но, в конце концов, реакция обрывается в результате взаимодействия свободного радикала, «ведущего цепь» (т. е. \dot{L} или $\text{LO}_2\dot{\text{O}}$) с каким-либо компонентом клетки: с другим радикалом, ионом металла переменной валентности или с молекулой так называемого антиоксиданта (антиокислителя).

Таким образом, в цепной реакции окисления липидов можно выделить стадию иницирования, продолжения и обрыва цепей; но это еще не все. Важнейшая особенность перекисного окисления липидов в биологических мембранах — реакция, напоминающая процесс при взрыве атомной бомбы. Однако в мембранах живых клеток, как и на атомных электростанциях, разветвление цепей — процесс регулируемый. Это связано с тем, что разветвление цепей происходит при взаимодействии с продуктами цепного окисления — гидроперекисями липидов LOOH — ионов двухвалентного железа Fe^{2+} .

$\text{LOOH} + \text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{OH}^- + \dot{\text{L}}$ (реакция разветвления цепи)

$\dot{\text{L}} + \text{LH} \rightarrow \text{LOH} + \dot{\text{L}} \rightarrow \text{новая цепь окисления}$

Если ионов Fe^{2+} в системе нет, разветвления цепей не происходит. Как мы увидим ниже, живая клетка умеет регулировать концентрацию Fe^{2+} , ограничивая тем самым скорость разветвления цепей.

КАК КЛЕТКА УПРАВЛЯЕТ ЦЕПНЫМИ РЕАКЦИЯМИ

мембранах, позволило понять механизмы регуляции перекисного окисления липидов в живой клетке¹. Оказывается, имеется целая система ферментативных и неферментативных реакций, регулирующих процесс на всех основных его стадиях.

Стадию иницирования активируют ферментативные системы, ответственные за образование супероксидного радикала, т. е. «включающие» реакцию окисления на мембранах. Например, на мембранах фагоцитов — клеток иммунной системы — с помощью специальных ферментов образуются супероксидные радикалы, которые и убивают бактерии. С другой стороны, входящий в состав многих клеток фермент супероксиддисмутаза, разрушающий супероксидные радикалы, и фермент каталаза, разлагающий перекись водорода, препятствуют образованию гидроксильного радикала из супероксидного и тем самым подавляют перекисное окисление.

Дальнейшее развитие реакции перекисного окисления зависит от вязкости липидного слоя мембран и концентрации кислорода в клетке. Чем выше вязкость и чем меньше кислорода, тем больше шансов, что цепная реакция оборвется.

Разветвлению цепной реакции способствуют факторы, участвующие в разложении гидроперекисей с образованием свободных радикалов. К таким факторам относятся повышенная температура (60—80 °С), ультрафиолетовое облучение и ионы двухвалентного железа.

Мы подробнее остановимся на последнем факторе, так как в организме теплокровных животных температура постоянная, а большинство клеток человека и животных в обычных условиях не испытывают на себе никакого ультрафиолетового воздействия. Зато почти во всех клетках, а также в плазме крови, всегда присутствует некоторое количество Fe^{2+} , которое необходимо, в частности, для синтеза гемоглобина и цитохромов — ферментов, участвующих в окислительных процессах. Кроме того, в клетках имеются ферментные системы, восстанавливающие трехвалентное железо до двухвалентного, которое затем вступает в реакцию с гидроперекисями липидов, разветвляя тем са-

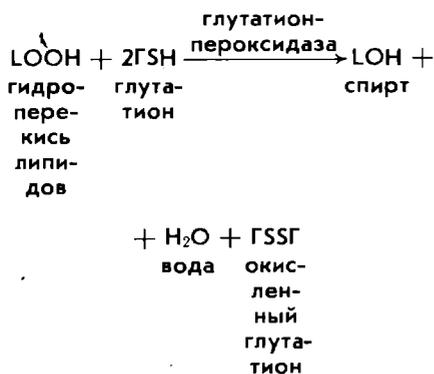
¹ Владимиров Ю. А., Оленев В. И., Сушлова Т. В., Потапенко А. Я. Механизм перекисного окисления липидов и его действие на биологические мембраны // Итоги науки и техники. Биофизика. 1975. Т. 5. С. 56—117.

Изучение цепной реакции окисления большого числа органических соединений, в том числе липидов в биологических

мым цепи окисления и активируя процесс перекисного окисления.

Таким образом, повышенная концентрация Fe^{2+} в клетках или в плазме приводит к активации перекисного окисления липидов в клеточных мембранах и в липопротеидах плазмы. Тогда становится понятным, почему при тканевой гипоксии активируется перекисное окисление (этот факт был установлен экспериментально). Дело в том, что при недостатке кислорода в клетках накапливаются восстановительные соединения, в том числе и ионы Fe^{2+} , которые образуются из Fe^{3+} , содержащегося в депо железа в клетках. Увеличение содержания Fe^{2+} усиливает перекисное окисление липидов за счет реакции разветвления цепей.

Существуют ли в клетках системы с противоположной функцией, т. е. тормозящие разветвление цепей? Безусловно, здесь проявляется общее свойство регуляторных систем живой материи. В процессе эволюции для управления любым процессом были созданы и активирующая, и тормозящая системы. В регуляции перекисного окисления также участвуют два механизма — усиливающий и ослабляющий. В качестве тормозного механизма выступают два фермента: фосфолипаза, отщепляющая гидроперекись свободной жирной кислоты от окисленного фосфолипида, и глутатионпероксидаза, широко распространенная во всех органах и тканях. Она разрушает гидроперекиси без образования свободных радикалов, восстанавливая их до спиртов за счет окисления серосодержащего соединения — глутатиона (GSH):

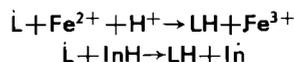


Чем больше в клетках глутатиона, тем энергичнее восстанавливаются гидроперекиси и тем меньше их остается для реакции разветвления цепей. Таким образом, восстановленный глутатион и ионы

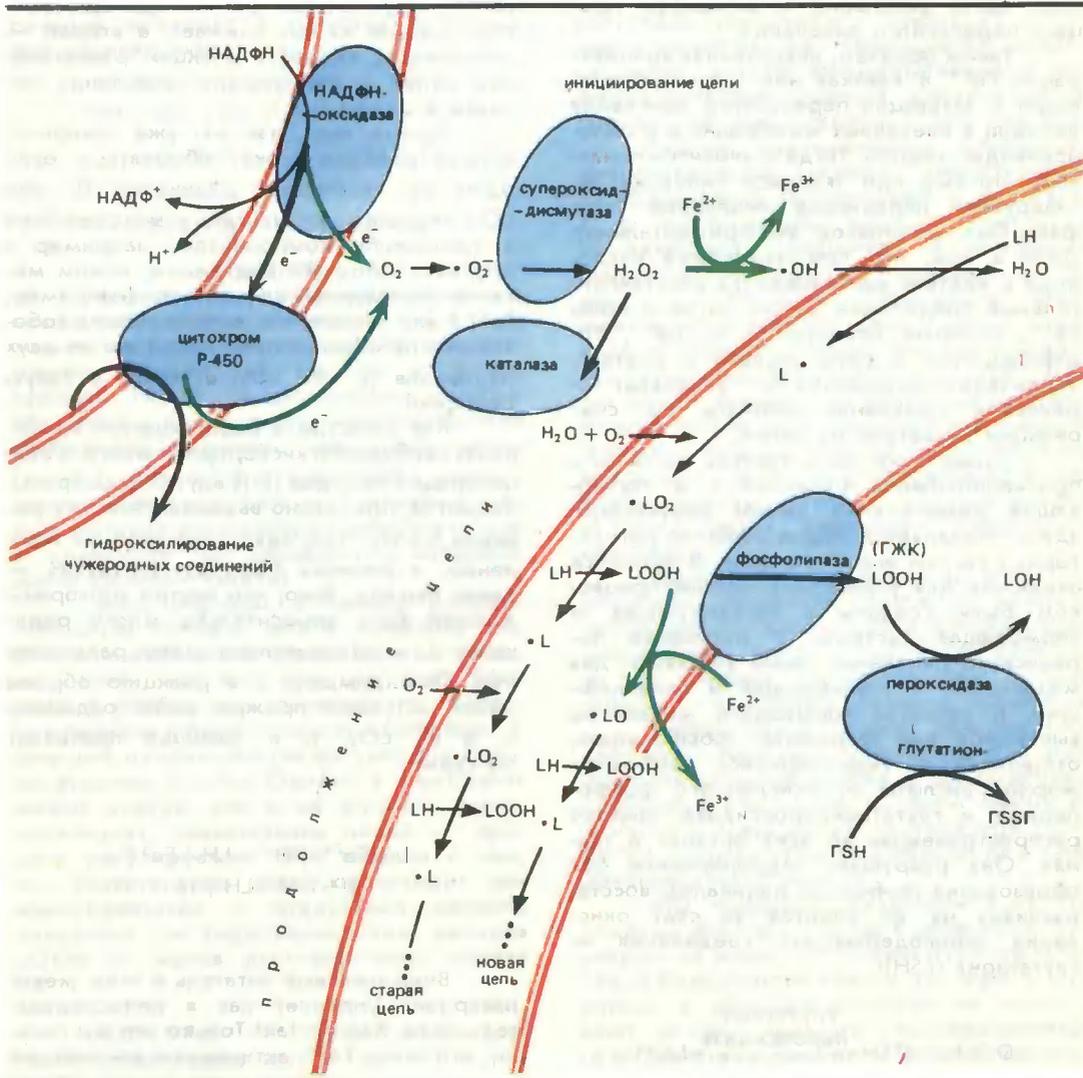
Fe^{2+} выступают как регуляторы-антагонисты: первый из них снижает, а второй — увеличивает скорость реакции разветвления цепей и перекисного окисления липидов в целом.

Кроме того, как мы уже говорили, цепная реакция может оборваться, если один из свободных радикалов (\dot{L} или \dot{LO}_2) исчезнет в результате взаимодействия с каким-либо компонентом, например с другим свободным радикалом, ионом металла переменной валентности (например, Fe^{2+}) или молекулой антиоксиданта (обозначаемой обычно InH). Какой же из двух радикалов (\dot{L} или \dot{LO}_2) вступает в такую реакцию?

Как известно, в биологических мембранах свободного кислорода немного, а концентрация липидов (LH) внутри мембраны, напротив, предельно высокая. Поэтому реакция $L + O_2 \rightarrow \dot{LO}_2$ идет относительно медленно, а реакция $\dot{LO}_2 + LH \rightarrow L + LOOH$ — очень быстро. Ясно, что внутри мембраны должно быть относительно много радикалов \dot{L} и относительно мало радикалов \dot{LO}_2 . По-видимому, и в реакцию обрыва цепей вступают прежде всего радикалы \dot{L} , а не \dot{LO}_2 , т. е. реакция протекает по схеме:



Внимательный читатель в этом месте наверняка упрекнет нас в непоследовательности. Как же так? Только что мы писали, что ионы Fe^{2+} активируют перекисное окисление, разветвляя цепи окисления липидов. А тут мы утверждаем, что ионы железа обрывают цепи, т. е. тормозят перекисное окисление липидов. Однако верно и то, и другое. Скорость этих двух процессов зависит от концентрации Fe^{2+} : при низких концентрациях (менее 60 мкМ) ионы железа ускоряют перекисное окисление, т. е. служат прооксидантами, а при высоких (выше 60 мкМ) — тормозят, т. е. играют роль антиоксидантов. В живой клетке концентрация свободного железа не достигает 60 мкМ, и ионы железа преимущественно активируют перекисное окисление, а тормозят процесс главным образом молекулы жирорастворимых антиоксидантов, в частности витамин E (α -токоферол).



Ферментные системы клетки, связанные с активацией перекисного окисления липидов или, напротив, с его ограничением. При нормальном течении процессов скорость перекисного окисления липидов в мембранах ограничена. Черные стрелки обозначают процессы, приводящие к активации перекисного окисления. Слева сверху: образование супероксидного радикала ($\cdot O_2^-$) и его дальнейшее превращение в перекись водорода (H_2O_2) и в радикал гидроксила ($\cdot OH$), который дает начало реакции цепного окисления липидов. Нарушение системы гидроксилирования чужеродных соединений, наличие свободного Fe^{2+} активируют процессы генерации $\cdot OH$ и перекисного окисления липидов. Ферменты супероксиддисмутаза и каталаза, катализирующие разложение H_2O_2 , напротив, ограничивают образование $\cdot OH$ и снижают скорость свободнорадикального окисления липидов [средняя часть рисунка]. Цепная реакция окисления развивается в липидном слое мембран [правая часть рисунка]. Скорость процесса зависит от текучести липидной фазы мембран и ограничивается холестерином, который увеличивает вязкость липидной фазы. В присутствии Fe^{2+} [правая нижняя часть рисунка] происходит разветвление цепей окисления липидов и процесс приобретает взрывной характер. Разветвление цепей ограничивается совместным действием ферментов фосфолипазы и глутатионпероксидазы. Фосфолипаза отщепляет гидроперекись свободной жирной кислоты от молекулы фосфолипида [$LOOH$ ГЖК], а затем глутатионпероксидаза разрушает гидроперекись свободной жирной кислоты, восстанавливая ее за счет окисления глутатиона [GSH].

КАК СВОБОДНЫЕ РАДИКАЛЫ ПОВРЕЖДАЮТ КЛЕТКИ?

Использование в эксперименте синтетических антиоксидантов, к числу которых относятся ионол (выпускаемый в виде лекарственного препарата под названием «дибунол») и целый ряд других соединений, во многом способствовало пониманию роли перекисного окисления в жизнедеятельности клетки и в развитии различных заболеваний.

Так, исследования, проведенные в Институте химической физики АН СССР, показали, что введение антиоксидантов в пищу лабораторных животных значительно снижало интенсивность перекисного окисления в клетках и тканях². При этом наблюдались заметные изменения в химическом составе липидов мембран, в физических свойствах липидов — изменялась вязкость липидного слоя, активность ферментов, встроенных в мембраны и т. д. Изучение связи между этими изменениями и уровнем перекисного окисления подтвердило, что интенсивность перекисного окисления определяет особенности функционирования мембран. Однако многое в этой области еще только начинает проясняться. Для нас в данной статье важно иное: роль перекисного окисления в нарушении нормальной жизни клетки. И большую помощь в решении этого вопроса оказали антиоксиданты.

Классическим примером исследования такого рода может служить изучение механизма токсического действия четыреххлористого углерода (органического растворителя, широко применяемого в промышленности), проведенное в ряде лабораторий за рубежом, а также в нашем институте.

Оказалось, что при отравлении четыреххлористым углеродом перекисное окисление липидов в клетках печени усиливается в несколько раз. Кроме того, степень повреждения клеток находится в обратной зависимости от интенсивности перекисного окисления в них. А антиоксиданты, введенные животным до отравления, не только снижают уровень перекисного окисления, но (в той же мере) предотвращают разрушающее действие че-

тыреххлористого углерода на печеночные клетки³.

Все эти факты позволяют нарисовать картину последовательных событий при действии четыреххлористого углерода на печень: четыреххлористый углерод → активация перекисного окисления → разрушение клеток печени.

Изучение перекисного окисления в клетках при другой патологии, а именно при повреждении клеток сердечной мышцы в результате стресса, дало аналогичную картину, т. е. перекисное окисление липидов в клетках сердечной мышцы при стрессе резко усиливалось; между уровнем перекисного окисления и степенью поражения сердечной мышцы наблюдался параллелизм; антиоксиданты также не только тормозили перекисное окисление, но и оказывали защитный эффект на сердечную мышцу, которая сохраняла свою функциональную активность даже при очень высоких концентрациях адреналина в крови⁴.

Такие же результаты были получены при изучении перекисного окисления в мозгу больных эпилепсией, при развитии ожоговой болезни, при ряде авитаминозов, при нарушениях зрения в результате чрезмерного освещения и недостатка селена в пище, при шизофрении и других психических расстройствах, при действии канцерогенных веществ⁵.

Разнообразие болезней, в развитии которых участвует перекисное окисление липидов, не должно нас удивлять. Просто дело в том, что при самых разных заболеваниях имеются некоторые общие звенья, к числу которых относится неспецифическое повреждение клеток. Как раз оно-то и обусловлено во многих случаях именно активацией перекисного окисления.

ГИПОТЕЗА ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Итак, как показали исследования, все клеточные структуры, такие как митохондрии, ядра, лизосомы, эндоплазматич-

² Владимиров Ю. А., Парнев О. М., Аннабердыева Е. М. и др. // Биологические мембраны. 1984. Т. 1. № 4. С. 428—434.

³ Меерсон Ф. З., Каган В. Е., Прилипко Л. Л. и др. // Булл. эксперим. биол. и мед. 1979. Т. 87. № 10. С. 404—406.

⁵ Пучкова Т. В., Путвинский А. В., Владимиров Ю. А. // Доклады АН СССР. 1983. Т. 270. № 6. С. 1489—1492.

² Бурлакова Е. Б., Алексенко А. В., Молочкин Е. М., Пальмина Н. П., Храпова Н. П. Биоксиданты в лучевом поражении и злокачественном росте. М., 1975.

ческая сеть, цитоскелет, сократительные структуры клетки, подвержены разрушительному действию перекисного окисления. При этом в любой биологической мембране в результате высокой реакционной способности свободных радикалов происходят характерные изменения, т. е. резко возрастает проницаемость мембран для молекул и ионов, увеличивается вязкость липидного слоя, на поверхности мембраны появляются отрицательно заряженные химические группы (по-видимому, $-\text{COO}^-$), а также выходят из строя многие мембранные ферменты, в первую очередь те, активность которых зависит от присутствия в молекуле тиоловых групп ($-\text{SH}$). Эти группы очень быстро разрушаются свободными радикалами и гидроперекисями липидов.

Но самым существенным для жизнеспособности клеток можно считать нарушение барьерной функции мембран, которое наблюдается на ранних стадиях перекисного окисления липидов. Нарушение барьерной функции связано с рядом событий в липидном слое мембран. Во-первых, продукты перекисного окисления каким-то образом могут переносить через липидный слой мембраны ионы водорода (протоны). Во-вторых, в результате перекисного окисления липидов в липидном слое могут образовываться отверствия (поры), по которым в клетку устремляются ионы, в частности Ca^{2+} . В-третьих, снижается электрическая прочность липидного слоя и мембрану «пробивает» электрическим током, как испорченную изоляцию в электропроводке.

Последний процесс заслуживает особого внимания. Как известно, разность потенциалов по сторонам клеточной мембраны в нервных и мышечных клетках составляет 70—90 мВ, а на внутренней мембране митохондрий — примерно 180 мВ. Казалось бы, напряжения небольшие: изоляция электрических проводов выдерживает разность потенциалов, по величине в тысячу раз большую. Но вспомним, что толщина липидного слоя мембраны — всего 3 нм, т. е. мембрана не в тысячу, а по меньшей мере в 100 тысяч раз тоньше любой изоляции, а ведь и та порой перегорает.

Специальные опыты, проведенные в нашей лаборатории, показали, что разность потенциалов, которую способны длительно выдерживать клеточные мембраны (от 80 до 100 мВ) и мембраны митохондрий (около 200 мВ), совсем незначительна (примерно на 20 мВ) превышает потенциалы,

существующие на биологических мембранах живых клетках. «Запас прочности» оказывается совсем небольшим: всего 10—20 %. Отметим одно крайне важное обстоятельство: при повреждении мембран снижается их электрическая прочность. В нашей лаборатории было показано, что напряжение, при котором происходит электрический пробой мембран (и которое служит количественной мерой электрической прочности мембраны) уменьшается при действии четырех факторов: перекисного окисления липидов, фермента фосфолипазы, механического растяжения мембраны и при адсорбции на поверхности мембраны некоторых чужеродных белков.

Итак, круг замкнулся. Мы начали с утверждения, что многие патологические процессы вызваны нарушением проницаемости мембран. Затем сказали, что в основе этого нарушения лежит один из четырех фундаментальных механизмов. Наконец, отметили, что включение всех этих механизмов снижает электрическую прочность мембран и приводит к их пробую собственным мембранным потенциалом, т. е. разностью потенциалов, существующей по сторонам мембраны в живой клетке. Это и позволяет нам сформулировать гипотезу, согласно которой электрический пробой мембран собственным мембранным потенциалом — это основная причина нарушения барьерной функции мембран в патологии, а значит, и причина гибели клеток.

Что же дали сегодня кропотливые исследования функционального состояния клеточных мембран, в частности процессов перекисного окисления липидов?

Прежде всего, мы многое узнали о мембранных механизмах клеточной патологии. В результате изучения перекисного окисления в клеточных мембранах сформировалась важная методологическая концепция, позволяющая рассматривать болезни с позиций современной биофизики и биохимии клетки. Такой подход уже дал некоторые практические результаты. В настоящее время с успехом используются антиоксиданты при терапии заболеваний, связанных с активацией перекисного окисления: при лечении термических ожогов, для уменьшения эритремы при ультрафиолетовом облучении кожи с терапевтическими целями и т. д. А ведь это, несомненно, лишь начало.

ДВУСТВОРЧАТЫЕ МОЛЛЮСКИ АРКТИКИ

В.В.Федяков, А.Д.Наумов



Вячеслав Викторович Федяков, кандидат биологических наук, гидробиолог, научный сотрудник Беломорской биологической станции Зоологического института АН СССР. В 1978 г. окончил биолого-почвенный факультет Ленинградского государственного университета им. А. А. Жданова. Занимается экологией и систематикой моллюсков Северного Ледовитого океана.

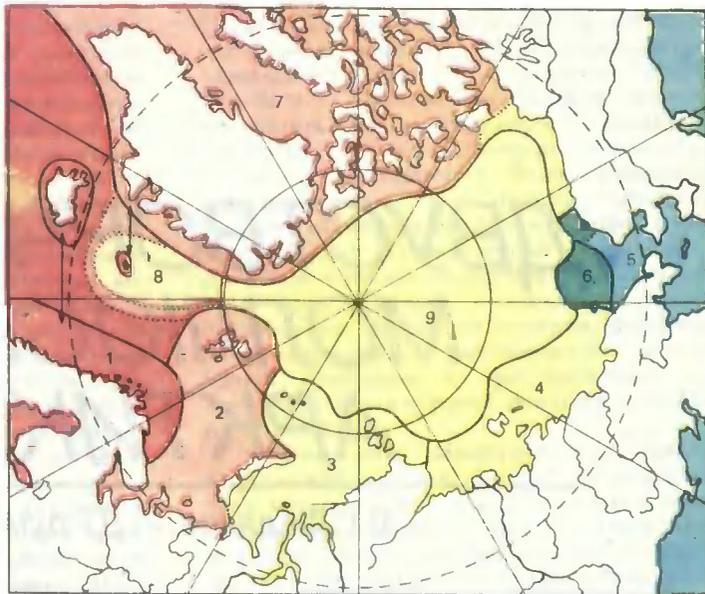
Андрей Донатович Наумов, кандидат биологических наук, специалист по зоологии беспозвоночных, научный сотрудник того же института. В 1970 г. окончил биолого-почвенный факультет ЛГУ. Область научных интересов — изучение систематики и экологии двустворчатых моллюсков Северного Ледовитого океана. Автор книги: Зоологические экскурсии на Белом море (в соавторстве с А. В. Оленевым). Л., 1981.

ИСТОРИЯ заселения животными и растениями того или иного района нашей планеты — это не просто интересная область биологии. Воссоздать закономерности освоения организмами разных ландшафтных зон — значит приблизиться к пониманию того, как возникали отдельные экосистемы, а в конечном итоге — проследить историю органического мира Земли. Чтобы восстановить последовательность исторических событий, нужна совокупность многих сведений геологического, географического, палеонтологического, ботанического, зоологического характера.

Мы попытались проследить историю заселения Арктики морскими формами животных. Из всех обитателей полярных морей, известных в наше время и существовавших в разные геологические эпохи, мы отдали предпочтение двустворчатым моллюскам, и вот почему. Их прочная раковина прекрасно сохраняется в ископаемом состоянии, и на палеонтологическом материале можно изучать состав и распространение моллюсков в давно

Районы распространения двустворчатых моллюсков в Северном Ледовитом океане: 1 — Норвежско-Исландский, 2 — Шпицбергенско-Беломорский, 3 — район Карского моря, 4 — район Сибирских морей, 5 — Южночукотско-Бофорский, 6 — Северо-Чукотский, 7 — Канадско-Гренландский, 8 — район Скандинавской ападины, 9 — район Центральной котловины.

- Арктические воды
 Зоны влияния:
 Атлантического океана
 Тихого океана
 Переходные участки между Арктической и Атлантической зонами
 Переходные участки между Арктической и Тихоокеанской зонами



прошедшие эпохи. Ископаемые раковины могут, кроме того, служить указателем времени при стратиграфическом исследовании осадочных пород. На двустворчатых моллюсках легко получить статистически достоверные результаты, поскольку, как и прежде, эти моллюски широко распространены по всей акватории Арктического бассейна. Следует оговориться, что заниматься морской биологией в суровых условиях Арктики — занятие не из легких, да и двум биологам не под силу изучить прошлый и нынешний состав двустворчатых моллюсков во всех Арктических морях. Поэтому свои рассуждения об истории заселения Арктики мы строили не только на результатах собственных «полевых» (следовало бы сказать — морских) работ, но и на литературных данных (к сожалению, по моллюскам нет ни одной обобщающей сводки, и нам приходилось пользоваться сведениями из очень многих научных статей, список которых был бы очень длинен, чтобы привести его в данной статье). Рассмотрим видовой состав двустворчатых моллюсков и пути их проникновения в Арктический бассейн.

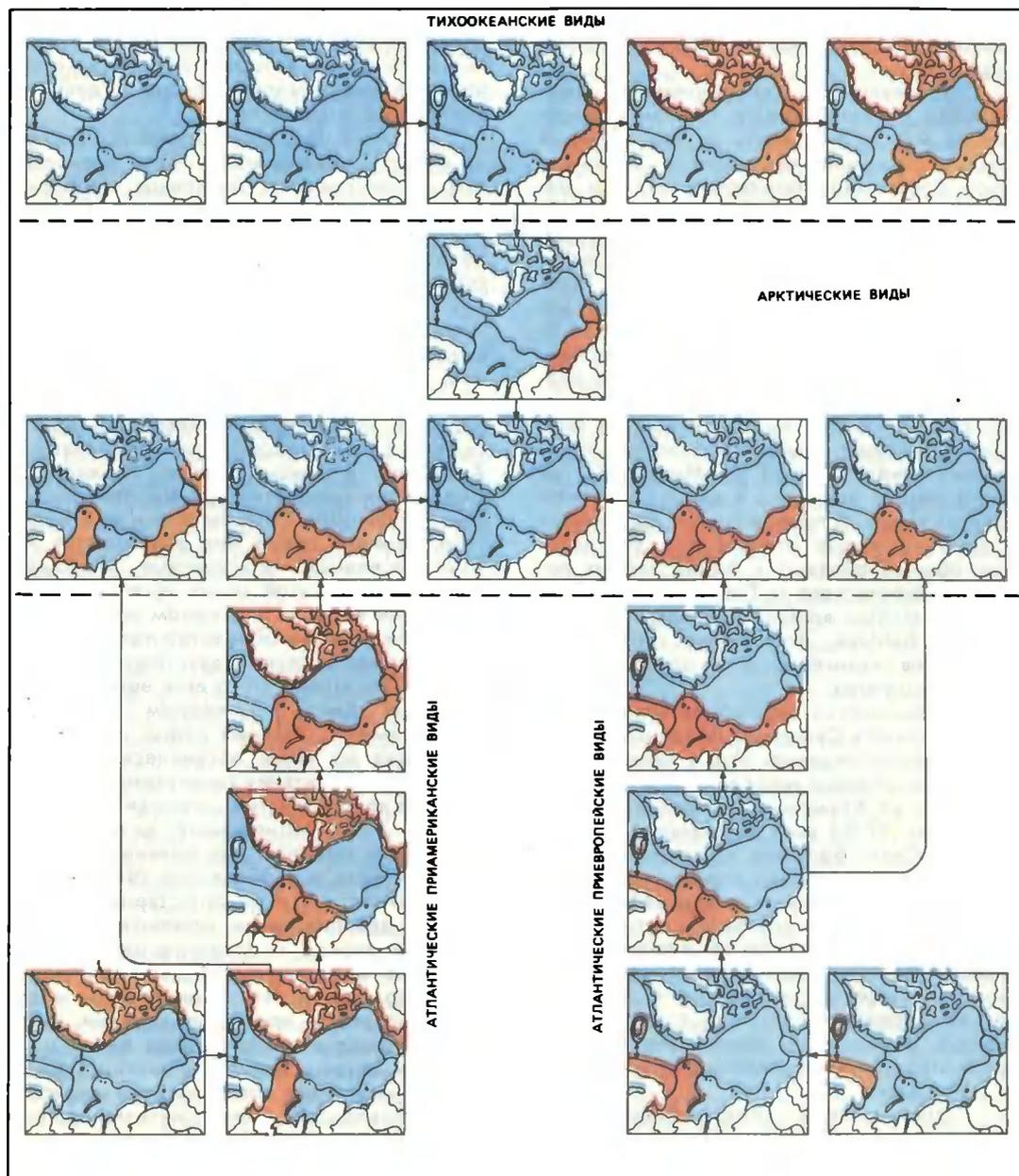
*

Много ли сейчас моллюсков в морях Северного Ледовитого океана? Оказывается, немногим более 180 видов. При сравнении с числом видов, населяющих

смежные с Арктикой воды, создается впечатление бедности видового состава арктических моллюсков: по западному побережью Тихого океана количество видов равно 270, по восточному — 450, а в Северной Атлантике достигает 730! В чем же причина того, что в Арктике этих моллюсков меньше, чем в ближайших к ней акваториях?

Казалось бы, вполне естественная причина — крайне низкие температуры за Полярным кругом, при которых могут выжить лишь немногие приспособившиеся формы. Но если это справедливо в отношении наземных животных, то видовую скудость моллюсков, обитающих на дне северных морей, нельзя объяснить жестокими морозами. Причины кроются в другом.

Во-первых, Северный Ледовитый океан — самый молодой, его впадина образовалась, вероятно, в меловом или даже в палеогеновом периоде, следовательно, продолжительность формирования собственно арктических видов была сравнительно невелика. Во-вторых, процессы видообразования в Полярном бассейне, по крайней мере на шельфе, неоднократно замедлялись или совсем прекращались в периоды мощных оледенений. В Арктической области образовался лишь один род двустворчатых моллюсков (*Portlandia*) и около 25 видов в нескольких уже существовавших родах, например в родах *Thyasira*, *Yoldiella*. Это отнюдь не мало, и, на наш



Предполагаемые пути формирования ареалов арктических моллюсков. Первыми моллюсками, проникшими в Арктику и затем равномерно заселившими ее, были, вероятно, выходцы и из Тихого, и из Атлантического океанов, причем заселение атлантическими видами шло двумя путями. Первым путем от прибрежий Норвегии до Восточно-Сибирского моря прошли приевропейские виды; вторым — приамериканские, которые в конце концов проникли и в западную часть Северного Ледовитого океана, и в восточную, которую заселяли также приевропейские моллюски. На каждом этапе ареалы проникших в Арктику моллюсков постепенно расширялись, а во время оледенений сокращались. Новое потепление в Арктике привело к новой волне переселения моллюсков, но истинно арктические виды, эндемики, сформировались из наиболее древних переселенцев, переживших первое оледенение Северного Ледовитого океана.

взгляд, объяснения требует не бедность, а наоборот, богатство фауны самого сурового океана.

Заселялся он двустворчатыми моллюсками в разное время, причем переселенцев можно разделить на две большие группы. Первыми проникли в северные моря бореально-арктические виды и настолько равномерно заселили Арктику, что сейчас затруднительно определить, откуда именно они пришли. С равным успехом здесь могли смешаться выходцы и из Тихого, и из Атлантического океанов. В настоящее время эти виды составляют 14 % от всех двустворчатых моллюсков Арктики. От этих наиболее древних вселенцев возникли даже новые формы. Таких собственно арктических, не выходящих за пределы Северного Ледовитого океана эндемичных видов — 13 %. Именно в их число входят один род и два с половиной десятка видов. К первой группе проникших в Арктику видов относятся и те, которые обычно обитают в более теплых водах Атлантического и Тихого океанов, например *Mytilus edulus*, *Modiolus modiolus*, *Muscula balthica*. Этих более теплолюбивых видов примерно в 2 раза меньше, чем эндемичных.

Большинство двустворчатых моллюсков проникло в Северный Ледовитый океан относительно недавно. Это, в первую очередь, сравнительно теплолюбивые бореальные виды из Атлантики, составляющие более трети (37 %) всех двустворчатых моллюсков. Столь большое их количество кажется, на первый взгляд, странным, но объясняется просто: принятые географические границы Арктики не совпадают с границами биогеографическими, так как в пределы Полярного бассейна входят акватории, которые, по существу, относятся к Атлантической бореальной области с ее богатой фауной. Виды этой фауны расселяются вдоль побережья Норвегии и Мурманского побережья.

Относительно теплолюбивые двустворчатые моллюски проникли и из Тихого океана. Их сравнительно немного — 12 %, обитают они в прибрежных районах моря Бофорта, где еще сказывается влияние теплых тихоокеанских вод.

Еще 18 % двустворчатых моллюсков приходится на долю бореально-арктических видов атлантического происхождения.

Таким образом, современное разнообразие двустворчатых моллюсков в Северном Ледовитом океане — это результат проникновения в его воды обитателей, по крайней мере, двух биогеографических

бореальных областей — Атлантической и Тихоокеанской — в дополнение к тем древним моллюскам, которые освоились в суровой Арктике намного раньше и дали современных эндемиков.

Однако население Полярного бассейна не есть механическая смесь разнородных фаунистических элементов; наоборот, оно характерно только для северных морей и имеет свои специфические черты. Если не учитывать бореальные виды, которые отражают соотношение групп двустворчатых моллюсков более южных, а не арктических областей, станет отчетливой крайняя скудность видами многих семейств (*Mytilidae*, *Pectinidae*, *Cardiidae*, *Macluridae*, *Pholadidae* и др.), обычно богатых ими в теплых водах. В то же время целый ряд других семейств, не слишком разнообразных в Атлантике и Тихом океане, в Северном Ледовитом процветает (*Malletidae*, *Nuculidae*, *Nuculanidae*, *Cuspidariidae* и др.). Более того, именно среди них встречаются многочисленные арктические эндемики.

Даже из этой очень краткой характеристики видно, что в самом молодом на Земле океане преимущество получили наиболее древние группы двустворчатых моллюсков. Но кроме этого есть еще один интересный факт. В Северном Ледовитом океане вместо обычных форм, отфильтровывающих из воды органическую взвесь (такой способ питания характерен для большинства двустворчатых моллюсков), преобладают либо собирающие детрит виды, либо даже хищники. Как правило, эти способы питания, в особенности сбор детрита с поверхности грунта, свойственны примитивным двустворчатым моллюскам отряда *Nuculida*, они-то и достигли наибольшего расцвета в Полярном бассейне. Вполне вероятно, что именно такие формы могли существовать во время оледенения, когда сквозь толщу льда проникало очень мало света, и потому резко сократилось количество первичного органического вещества, вырабатываемого фотосинтезирующими организмами. Животным оставалось одно: потреблять органическое вещество, созданное раньше и накопившееся в детрите.

Связь между оледенением, первичной продукцией и моллюсками прослеживается и в фауне брюхоногих моллюсков. В этих же северных морях, где преобладают древние двустворчатые моллюски, из брюхоногих более разнообразны молодые в эволюционном отношении виды. Примечательно, что среди них нет растительноядных форм. Развитие примитивных брюхоногих, питающихся растениями, было огра-

ничено снижением освещенности дна тоже во время крупных оледенений и неизбежным поэтому сокращением кормовой базы животных.

К любопытным выводам может привести анализ моллюсков на уровне родов. Те из них, которые в Арктике наиболее богаты видами, встречаются в отложениях с конца мела и с палеоцена. Возможно, эти группы произошли во время сильного похолодания в конце мелового периода и должны были получить преимущество во время оледенений. Однако для проверки такого предположения требуется тщательная датировка ископаемых остатков и дополнительные палеоклиматические исследования.

Итак, можно предположить, что в суровых условиях Арктики преимущественное развитие получили грунтоеды или хищники, сформировавшиеся либо в Атлантическом океане вскоре после его образования в периоды похолоданий, либо возникшие в Полярном бассейне при сходных обстоятельствах.

*

Несмотря на единый в целом характер фауны двустворчатых моллюсков Полярного бассейна, на всей его акватории она не однородна. Здесь явно выделяются 9 фаунистических районов, не считая Гудзонова залива, по моллюскам которого у нас очень мало сведений. В свою очередь, районы можно сгруппировать в 3 большие зоны: зону влияния вод Атлантического океана, собственно Арктическую и зону влияния тихоокеанских вод.

К зоне влияния Атлантики мы относим Норвежско-Исландский район — участок акватории Полярного бассейна с наибольшим разнообразием моллюсков. Здесь почти полностью отсутствуют арктические виды, так как на всех глубинах шельфа сказывается постоянное воздействие теплых вод Гольфстрима. Другой район этой же зоны — район Скандской впадины — по составу фауны двустворчатых моллюсков на глубинах менее 2500 м очень близок Норвежско-Исландскому, но есть и характерная, к тому же редкая, черта — вертикальное разделение биогеографических областей. Проявляется она в том, что число арктических видов увеличивается с глубиной. Начиная примерно с глубины 2500 м, сказывается влияние арктических вод, поэтому глубокие участки морского дна заселены холодноводными видами. Еще два района — Шпицбергенско-Беломорский и

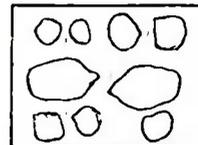
обширный Канадско-Гренландский — мы относим к переходным, так как количество бореальных и арктических форм в них приблизительно одинаково. В Шпицбергенско-Беломорском районе число видов бореального происхождения несколько больше арктических, причем соотношение этих групп зависит от глубины и в еще большей степени от гидрологических условий различных морских участков. На хорошо прогреваемых мелководьях больше теплолюбивых видов, а котловины, отделенные высокими порогами, заселены арктическими видами двустворчатых моллюсков. В то же время в центральной части Баренцева моря до самых больших его глубин арктические виды не встречаются. В Канадско-Гренландском районе число видов бореального происхождения меньше, чем в предыдущем, поскольку значительно меньше площадь прогреваемых мелководий.

В Арктической зоне по фауне двустворчатых моллюсков можно выделить 3 биогеографических района. В районе Карского моря, где еще сказывается некоторое влияние Атлантики (особенно на глубинах), широко распространены бореально-арктические виды, причем глубже 100 м преобладают атлантические моллюски и даже появляются виды бореального происхождения.

Истинно арктический — это район Сибирских морей. Но за счет обширности мелководий с их сезонными колебаниями температуры и солёности воды здесь тоже много бореально-арктических двустворчатых моллюсков. Интересно, что арктические эндемики заселяют верхнюю часть водной толщи, а моллюски более глубоких мест ведут свое происхождение из Атлантики. На глубинах всего 20—50 м число арктических видов заметно снижается. Чем можно объяснить столь странное на первый взгляд явление? Оказывается, в этом просматривается связь со стоком сибирских рек, который создает вдоль побережий мощный опресненный слой поверхностных вод. Эта зона даже описывается исследователями как особая эстуарно-арктическая биогеографическая провинция. Вероятно, она сформировалась во время первого крупного оледенения, и как единое целое существовала лишь эпизодически. Сейчас она существует в виде фрагментов, приуроченных к устьям крупных рек, а расположены такие фрагменты вдоль побережья от юго-восточных районов Баренцева моря до Канадского Арктического архипелага. На других же участках района Сибирских морей

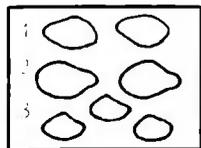
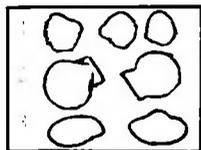


Моллюск *Chlamys islandicus*.



Двустворчатые моллюски Норвежско-Исландского района: 1 — *Limopsis minuta*, 2 — *Astarte sulcata*, 3 — *Zirfaea crispata*, 4 — *Cerastoderma edulis*, 5 — *Spisula elliptica*.

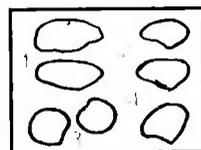
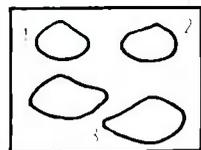
Двустворчатые моллюски Шпицбергенско-Беломорского района:
 1 — *Ciliatocardium ciliatum*, 2 — *Chlamys islandicus*, 3 — *Yoldia amygdalea*.



Двустворчатые моллюски района Карского моря: 1 — *Portlandia arctica*, 2 — *Cuspidaria arctica*, 3 — *Yoldiella intermedia*.



Двустворчатые моллюски района Сибирских морей: 1 — *Portlandia siliqua*, 2 — *P. aestuariorum*, 3 — *Nuculana lamellosa*.



Двустворчатые моллюски Южночукотско-Бофортского района: 1 — *Siliqua alta*, 2 — *Nuculana radiata*, 3 — *Crassicaudia crassidens*, 4 — *Astarte alaskensis*.

доля холодноводных форм равномерно увеличивается с глубиной.

Район Центральной котловины Полярного бассейна изучен еще недостаточно подробно, но известно, что здесь почти полностью отсутствуют широко распространенные в других районах бореально-арктические виды двустворчатых моллюсков. Именно здесь, а также в районе Сибирских морей встречается большая часть эндемиков Северного Ледовитого океана.

В зоне, где сказывается влияние Тихого океана, мы различаем два биогеографических района. В одном из них — Южночукотско-Бофортском — тихоокеанских бореальных видов больше, чем арктических, которые концентрируются лишь в эстуарных участках моря Бофорта. Часть этой акватории к юго-западу от мыса Барроу следует, по-видимому, рассматривать как фрагмент Тихоокеанской бореальной области. В другом районе — Северо-Чукотском — соотношение тихоокеанских бореальных и арктических видов приблизительно равно. Снижение же числа арктических моллюсков на глубине 40—70 м, вероятно, можно объяснить влиянием проникающих из Тихого океана теплых и соленых вод.

*

Как же проследить пути заселения Арктики двустворчатыми моллюсками? Известно, что область обитания вида изменяется с течением времени, поэтому ареал в известной мере представляет собой определенный этап расселения. Если предположить, что животные со сходными требованиями к условиям среды и первоначально распространенные в одних и тех же местах осваивают новые территории (или акватории) более или менее одинаково, то ареалы конкретных видов можно рассматривать как своеобразные вехи на пути заселения региона определенными формами. По этим соображениям мы сделали попытку реконструировать ход освоения Полярного бассейна двустворчатыми моллюсками.

Основная часть ныне живущих на шельфе видов проникла в Северный Ледовитый океан из Атлантического, причем заселение шло по крайней мере двумя путями. Первый из них начался с освоения Норвежского побережья и закончился в Восточно-Сибирском море. Пройдя этот путь до конца, наиболее древние переселенцы проникли в Полярный бассейн еще в третичное время, возможно, вскоре после формирования океанической впадины. За-

тем, когда уровень Мирового океана упал более чем на 100 м (за счет среднеплейстоценового оледенения), они оказались отрезанными от основного ареала. В обмелевших арктических морях древняя мелководная фауна могла сохраниться только в узкой полоске шельфа и начале материкового склона. Около двух третей двустворчатых моллюсков из числа форм, переживших катастрофу, под влиянием местных суровых условий в дальнейшем дали начало новым арктическим видам, которые и обитают теперь на шельфе Сибирских морей. Эти виды и составляют основную часть эндемиков Арктики.

После отступления ледника уровень моря приблизился к современному, и в Арктику иммигрировала следующая волна двустворчатых моллюсков. Но она успела пройти лишь до Северной Земли. Затем повторились предыдущие события: наступило новое, верхнеплейстоценовое оледенение, многие участки шельфа северных морей покрылись ледовым щитом. Океан обмелел, хотя и не так сильно, как в более раннее время, и снова выходцы из Атлантики были отрезаны от основного ареала. Донная фауна смогла выжить лишь в глубоких желобах Баренцева и Карского морей, но новые арктические виды не успели сформироваться, так как для эволюционных преобразований после этих событий прошло сравнительно мало времени.

Освободившийся ото льда 12 тыс. лет назад полярный шельф Арктики стал снова заселяться атлантическими видами двустворчатых моллюсков. На этот раз Северный Ледовитый океан начали осваивать бореальные виды, они заселили в основном западную часть Баренцева моря, и лишь самые холодостойкие из них достигли Новой Земли.

Группы островов, разбивающие этот общий путь заселения, служили своего рода барьерами, за которыми и сейчас обитают все более холодолюбивые виды. Степень приспособленности двустворчатых моллюсков к низким температурам возрастала по мере их продвижения с запада на восток, в результате арктические виды не попали в Чукотское море, в котором уже заметно сказывалось влияние вод Тихого океана.

По второму пути Северный Ледовитый океан заселяло небольшое число выходцев из Атлантики. Освоение Арктики двустворчатыми моллюсками по этому пути началось с моря Баффина, Канадского Арктического архипелага, побережий Ян Майена и Восточной Гренландии. Отсюда

вероятно, по порогу Нансена относительно глубоководные виды достигли шельфа Шпицбергена. Затем было заселено море Бофорта, а также район Земли Франца-Иосифа и Карское море. Оледенение шельфа эти виды могли пережить в Новоземельском желобе, а впоследствии проникли оттуда в котловину Белого моря.

Те виды, которые изначально оказались у побережий Европы и Америки, распространяясь обоими путями, сформировали ареалы циркумполярного типа.

Двустворчатые моллюски из Тихого океана заселили лишь южную часть Чукотского моря и отчасти море Бофорта. Распространившись далее к северу и северо-западу, они освоили северную часть Чукотского моря и Восточно-Сибирское море. Заселяя все новые акватории, они появились в Канадском Арктическом архипелаге и в водах моря Лаптевых. Те из них, которые достигли Восточной Гренландии, могли попасть на шельф Шпицбергена так же, как туда проникли атлантические виды от берегов Америки.

К сожалению, мы не смогли скольконбудь надежно проследить этапы заселения двустворчатыми моллюсками больших глубин Арктики, так как не рискнули оперировать неустоявшимися представлениями о происхождении и геологической истории арктических впадин. Пока мы мо-

жем только заключить, что фактически все виды (среди них есть и эндемичные) средних глубин Северного Ледовитого океана — потомки атлантических моллюсков, которые расселились в зоне влияния атлантической водной массы. Можно также предположить, что заселение глубоководной части Полярного бассейна началось одновременно с формированием впадин, т. е. в конце мела — палеогене, и, видимо, в отличие от шельфовых видов, формирование глубоководной фауны не сопровождалось вымиранием видов, связанным с оледенениями, так как на больших глубинах их влияние сказывалось значительно слабее.

Нет сомнений, что пути расселения разных групп животных и формирование их современного состава могут отличаться, но все же внутри больших группировок неизбежно проявляется и сходство. Поэтому можно предположить, что не только двустворчатые моллюски, но и другие донные животные Северного Ледовитого океана заселяли его если и не идентичным, то, в общих чертах, сходным образом. Следовательно, выводы о путях проникновения в Северный Ледовитый океан двустворчатых моллюсков могут отражать общую схему становления арктической донной фауны.

К ЧИТАТЕЛЯМ «ПРИРОДЫ»

Подписка на журнал «Природа» не ограничена и принимается во всех отделениях связи на любой срок с любого месяца.

Цена одного номера — 80 к.

Подписная цена:

на квартал — 2 р. 40 к.,

на полугодие — 4 р. 80 к.

Индекс 70707.

Обо всех случаях отказа в подписке просим сообщать в редакцию журнала по адресу: 117049, ГСП-1, Москва, Маролевский пер., 26.

КАСПИЙ:



прошлое, настоящее, будущее

В последнее десятилетие в связи с планировавшимися мероприятиями по переброске части стока северных рек в бассейн Волги, и следовательно в Каспийское море, в широких кругах общественности развернулась острая дискуссия. Она нашла отражение и в ряде публикаций, появившихся на страницах общественно-политических изданий (см. напр.: З а л ы г и н С. П. Проект: научная обоснованность и ответственность // Коммунист. 1985. № 13; Л и х а ч е в Д. С., Я н и н В. Л. Русский север как памятник отечественной культуры // Коммунист. 1986. № 1). В горячих обсуждениях судьбы Каспия ярко выявилась вся сложность взаимодействия (а часто противодействия) человека и окружающей среды. Располагая мощными технологическими и энергетическими возможностями коренной перестройки ландшафтных систем, человечество пока не достигло того научного потенциала, при котором возможно предвидеть последствия (и особенно отдаленные) такого влияния на природу.

В августе 1986 г. Центральный Комитет КПСС и Совет Министров СССР приняли постановление «О прекращении работ по переброске части стока северных и сибирских рек». В нем признано «целесообразным прекратить проведение проектных и подготовительных работ по переброске части стока северных рек в реку Волгу и дальнейшее осуществление проектных проработок, связанных с переброской части стока сибирских рек в Среднюю Азию и Казахстан... исходя из необходимости дополнительного изучения экономических и экологических аспектов проблем переброски...».

В этом номере «Природы» читатель познакомится с некоторыми аспектами проблемы Каспия.

Каспий и Волга 5,5 и 125 тысяч лет назад

А.А.Величко, В.А.Климанов, А.В.Беляев



Андрей Алексеевич Величко, доктор географических наук, заведующий лабораторией палеогеографии Института географии АН СССР. Окончил географический факультет Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова в 1953 г. Занимается проблемами эволюции природы и вопросами взаимодействия человека и природы. Автор нескольких монографий. Неоднократно публиковался в «Природе». Член редколлегии журнала «Природа».



Владимир Андреевич Климанов, кандидат географических наук, научный сотрудник той же лаборатории. Окончил географический факультет МГУ в 1971 г., факультет вычислительной математики и кибернетики в 1982 г. Занимается проблемами изменения климата в голоцене и применением математических методов в палеогеографии.



Александр Вадимович Беляев, кандидат географических наук, ученый секретарь Института географии АН СССР. Окончил географический факультет МГУ в 1972 г. Занимается проблемами водных ресурсов, и в частности водным балансом.

НА КАЖДОМ уровне воздействия человека на природу возникают предсказуемые и непредсказуемые последствия. Накладываясь друг на друга, они образуют чрезвычайно сложную систему. Даже такое, казалось бы, простое мероприятие, как забор воды из рек, впадающих в Каспийское море, приводит к целому ряду часто нежелательных явлений. Во-первых, бесспорно снижается уровень моря. При этом меняются условия в морских экосистемах (что отрицательно сказывается

на рыбных запасах), происходит врезание русел рек, снижается уровень грунтовых вод не только в бассейне Волги, но и в бассейнах других рек, впадающих в море. В свою очередь, уменьшается содержание влаги в почве. Мы коснулись лишь одной цепи явлений, возникающих при перестройке локальной ландшафтной системы. Казалось бы, в этой цепи подача части стока северных рек в бассейн Волги представляется перспективной.

Но в этом случае трансформация

затронет ландшафты не только юга, но и севера Европейского континента. Очевидно, что число цепей различных последствий, далеко не во всем поддающихся реалистической оценке, возрастает во много раз.

Особое значение имеет и фактор времени. Не говоря о том, что реализация проекта переброски потребует не одного десятилетия, функционирование технического комплекса, с помощью которого можно будет подавать воду, также должно быть рассчитано на несколько десятилетий. В таком случае необходимо учесть вековую тенденцию изменения климата. Только тогда можно оценить эффект сооружаемого комплекса.

Климат — наиболее мобильный компонент глобальной природной оболочки, активно влияющий на другие компоненты. Сейчас уже ясно, что на климат оказывают воздействие не только естественные, но и антропогенные факторы. Не останавливаясь подробно на тенденциях антропогенного изменения климата (о них говорится в публикуемой в этом номере статье Г. С. Голицына), подчеркнем, что к началу XXI в. ожидается повышение глобальной температуры приземного слоя воздуха на 1° , а в последующие несколько десятилетий на 2° по сравнению с настоящим временем. Долговременная естественная тенденция изменения температурного режима оказывается значительно слабее, и ею можно пренебречь при оценке последствий, которые может вызвать в зоне влияния комплекса переброски антропогенный фактор.

БЫВШИЕ И БУДУЩИЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ СИТУАЦИИ В ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЕ

В течение последних нескольких лет в Институте географии АН СССР проводились исследования, позволившие воссоздать климат Восточной Европы на протяжении позднего отрезка четвертичного периода¹. Палеоклиматические реконструкции строятся с использованием различных методов. В своей работе мы применяли так

называемый ареалогический и информационно-статистический методы.

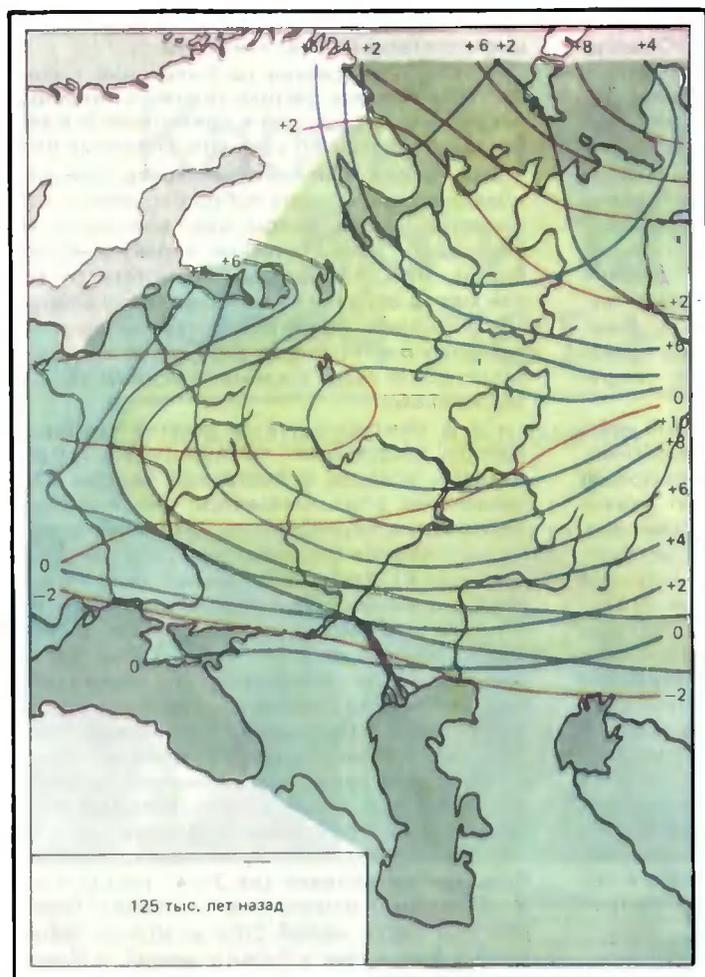
Первый основан на выявлении районов совместного распространения ареалов современных растений и климатических характеристик нашего времени, типичных для этого ареала. Палеоботанические данные, позволяющие выявить набор растений, произраставших в прошлом, дают возможность воссоздать климатические характеристики былых эпох. Информационно-статистический метод основан на сопоставлении спорово-пыльцевых спектров современных и прошлых растительных сообществ и их статистической связи с климатическими характеристиками.

С помощью этих и других методов удалось восстановить температуру и сумму годовых осадков в Восточной Европе для нескольких эпох. Оказалось, что 5—6 тыс. лет назад, в период так называемого оптимума голоцена (межледниковья, в котором мы живем), среднеглобальная температура была выше современной примерно на 1° , а 125 тыс. лет назад, в оптимум микулинского межледниковья, на 2° . Эти эпохи могут служить своеобразными моделями, или, как иногда говорят, сценариями будущего климата. По палеоклиматическим картам, построенным для этих отрезков времени, можно судить об изменениях в режиме осадков и температуры, которые возможны и при будущем потеплении.

В период оптимума голоцена наибольшее потепление (на $3\text{--}4^{\circ}$ летом и на $2\text{--}4^{\circ}$ зимой) отмечается на севере Европейской части нашей страны вблизи побережий Баренцева и Белого морей, в Карелии, в бассейнах Печоры и Мезени. Южнее, в средней полосе, теплело не так заметно. В частности, в бассейне верхней Волги (вплоть до широты Куйбышева) зимние и летние температуры были выше современных на $1\text{--}2^{\circ}$. На самом же юге происходило нечто неожиданное: температурный фон лета оказывается ниже современного примерно на 1° . Именно в этой полосе находятся и нижняя Волга, и акватория Каспийского моря. Средние температуры января в бассейне нижней Волги и Каспия были выше современных на $2\text{--}3^{\circ}$. Другими словами, климат здесь был более мягким, чем сейчас.

Температурные отклонения периода оптимума голоцена от современных сопровождаются заметными сдвигами в режиме осадков. Ощутимое повышение их годовой суммы — около 100 мм — имело место вблизи побережья Баренцева моря. Южнее

¹ Величко А. А., Гричук В. П., Гуртовская Е. Е., Зеликсон З. М., Борисова О. И. // Известия АН СССР, сер. геогр. 1982. № 1. С. 15—27; Климанов В. А. // Доклады АН СССР. 1978. Т. 242. № 4. С. 902—904; Хотинский Н. А., Савина С. С. // Известия АН СССР, сер. геогр. 1985, № 4. С. 18—34.



Отклонение от современных значений средних температур января и июля, а также годовой суммы осадков на Европейской территории страны (ЕТС) 5,5 тыс. лет назад (оптимум голоцена) и 125 тыс. лет назад (оптимум миклулинского межледникового). В северной и средней частях этой территории температуры июля и января были выше современных и 5,5 и 125 тыс. лет назад. В период оптимума миклулинского межледникового во внутриконтинентальных районах повышение температуры было более заметным. Здесь же возросла и годовая сумма осадков — на 100—200 мм. В средней полосе ЕТС температура также была большей (особенно 125 тыс. лет назад). Сумма годовых осадков 125 тыс. лет назад также была более высокой, а 5,5 тыс. лет назад несколько меньшей или почти равной современной. На юге территории летние температуры были ниже современных, тогда как количество осадков возрастало на 100 мм и более.

широты Ленинграда, в средней полосе Русской равнины, положительные отклонения суммы осадков не фиксируются. В бассейне верхней Волги осадков выпадало даже несколько меньше, чем сейчас, а на широте Казани — меньше на 25—50 мм в год. Однако южнее широты Тольятти на всей южной части равнины сумма осадков вновь растет. На широте Саратова их выпадало на 50 мм больше, чем сейчас, а от широты Волгограда и в полосе акватории Каспия сумма осадков возрастала на 100 мм и более.

В оптимум миклулинского межледникового, т. е. при повышении среднеглобальной температуры на 2° , изменения температуры и годовой суммы осадков на территории Восточной Европы были еще более заметными, чем в оптимум голоцена. На севере Русской равнины и в Карелии зим-

няя и летняя температуры были выше на $2-4^{\circ}$. Южнее, во внутриконтинентальных районах, особенно в бассейне верхней Волги, зимой происходило весьма существенное повышение температуры — на $10-11^{\circ}$, летом оно было небольшим — в пределах $1-2^{\circ}$. Зимой более высокая температура, чем сейчас, сохранялась вплоть до низовьев Волги, однако в южной полосе, куда входит и основная часть акватории Каспия, температура понижалась приблизительно на 1° . Летом полоса более низких, чем сейчас, температур расширялась к северу до широты Куйбышева, а над низовьями Волги и над акваторией Каспия июльские температуры снижались на 2° и, возможно, несколько более.

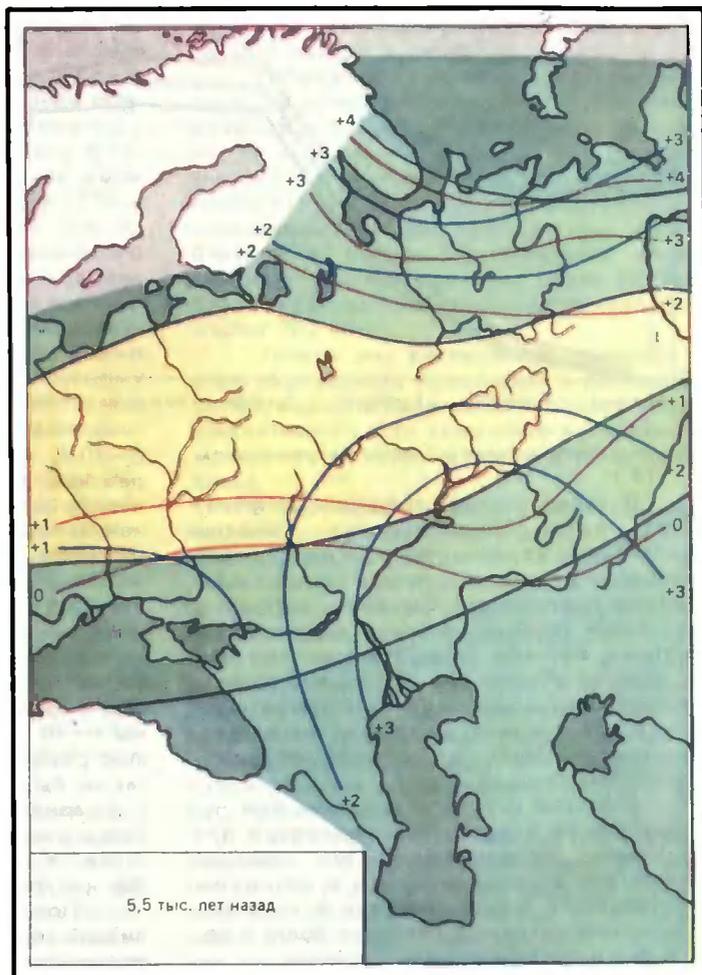
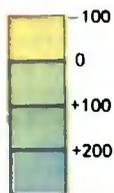
В то же время Карелия и бассейн Печоры получали осадков на 120—200 мм

Отклонения от современных значений:

+2 температуры января, °С

+1 температуры июля

годовой суммы осадков, мм



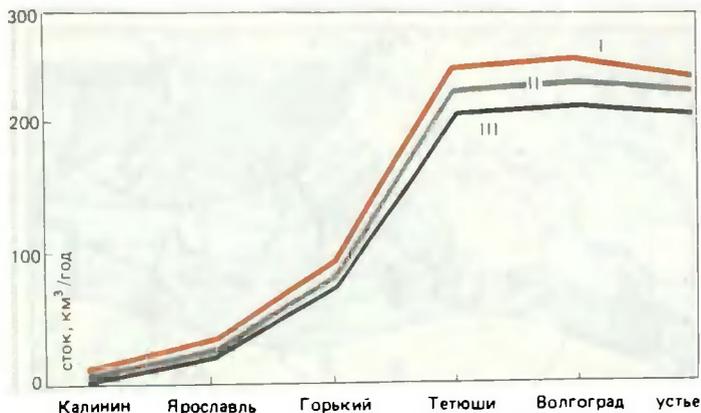
в год. больше, чем сейчас, а основная часть Русской равнины, вплоть до широты Волгограда, — на 50—100 мм. Весьма примечательно, что в полосе, в которую входят и нижняя Волга, и Каспий, осадков было больше на 100 мм, а в более западных районах равнины — даже на 300 мм в год.

Таким образом, при одноградусном и двухградусном уровнях повышения среднеглобальной температуры в интересующем нас регионе изменения гидротермических условий имели сходную тенденцию, хотя и различались в деталях.

Очевидно, что выявленные особенности распределения температур и осадков на Европейской территории страны вносили существенные изменения в процессы испарения, влияли на сток Волги и водный баланс Каспия.

РЕАКЦИЯ РЕЧНОГО СТОКА

Обычный способ оценки речного стока — определение расхода (количества воды, протекающей через поперечное сечение реки) — при палеогидрологических реконструкциях не применишь. Однако данные непосредственных определений расхода отсутствуют и для некоторых современных регионов земного шара, еще недостаточно изученных в гидрологическом отношении. В частности, с наличием подобных «белых пятен» для южных районов Азии, значительной части Африки, Южной Америки, Аляски, Мексики столкнулись гидрологи при составлении «Мирового водного баланса и водных ресурсов



Сток Волги в настоящее время, 5,5 и 125 тыс. лет назад. Масштаб по горизонтали условный. В оптимум микулинского межледникового (I) и особенно в оптимум голоцена (II) сток был меньше современного (III).

Земли», выпущенного Гидрометеоиздатом в 1974 г.

В таких случаях среднюю величину стока можно определить, если известны годовая сумма осадков и испаряемость, зависящая от температурного режима и характера поверхности бассейна, которая в различных природных зонах неодинакова. Поэтому расчеты стока по этой методике ведутся обычно для небольших речных бассейнов, их можно в дальнейшем использовать для участков, расположенных в аналогичных условиях, где на реках нет гидрологических станций.

В нашем случае этот прием был использован не для пространственной, а для временной экстраполяции. При этом мы принимали во внимание, что в оптимумы микулинского межледникового и голоцена природные условия в бассейне Волги в целом были сходны с современными.

Расчеты средних многолетних значений стока были сделаны для рек, принадлежащих к бассейну Волги, расположенных в самых разных природных условиях (от таежных до полупустынных), по современным данным, а затем — на основании данных палеоклиматических реконструкций.

Путем интегрирования был получен сток Волги на всем ее протяжении от Калинина до устья. Кстати сказать, погрешность определения стока по такому методу для основных притоков Волги не превысила 5 %, а для всей Волги — 3 %. Поэтому можно считать, что этот прием дает вполне удовлетворительные результаты.

Оказалось, что 125 тыс. лет назад речной сток бассейна Волги был на 5 % меньше современного — его объем в устье Волги составлял около 220 км³/год. При этом более всего (на 15—20 %) он снижался в бассейне верхней Волги, в бассейне Оки — на

8—10 %, в левобережной части Волги не более чем на 5 %. В южной части климатические условия благоприятствовали увеличению стока, но, поскольку здесь формируется незначительная его часть, на суммарном объеме стока это не сказалось.

5,5 тыс. лет назад тенденции изменения стока были похожими. Но снижение стока в северной части бассейна Волги было более значительным, чем 125 тыс. лет назад, и составило 20—25 %, а в бассейне Камы — 10 %. Зона повышенного по сравнению с современным уровнем стока на юге также была невелика, что и сказалось на суммарном объеме стока Волги, который был меньше современного на 15 % (объем стока в устье Волги составил около 200 км³/год).

Поскольку площадь Каспия была различной в рассматриваемые нами срезы времени и изменялась постепенно, при вычислении приходной и расходной части водного баланса Каспийского моря мы в дальнейшем использовали величины, измеряемые не в кубических километрах в год (эта размерность требует учета площади моря), а в миллиметрах слоя в год.

По расчетам, сток Волги в Каспийское море в оптимум голоцена был равен примерно 552 мм/год, а в оптимум микулинского межледникового — 619 мм/год, сток других рек, впадающих в Каспий — Урала, Терека, Сулака, Куры, рек иранского побережья, на долю которых сейчас приходится около 20 % общего стока, в эти периоды времени был большим, чем в наше время.

БАЛАНС КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Из всех составляющих приходной части водного баланса Каспия наибольшую

величину имеет сток рек. Используя полученные величины стока Волги 5,5 и 125 тыс. лет назад, можно оценить общий объем речного стока в Каспийское море в эти периоды. Для надежности примем сток остальных рек равным современному (159 мм/год), хотя он был выше него. В таком случае приток рек в Каспийское море в оптимум голоцена был равен $552+159=711$ мм/год, или меньше, чем сейчас, на 97 мм/год, а в оптимум микулинского межледниковья $619+159=778$ мм/год, или меньше, чем сейчас, только на 30 мм/год.

Подземный приток воды в рассматриваемые временные срезы также можно принять примерно равным современному (хотя и он должен был быть выше, так как в Каспийском регионе количество выпадающих осадков было большим).

Таким образом, с помощью палеоклиматических и палеогидрологических реконструкций мы получаем количественные выражения для всех компонентов приходной части водного баланса Каспийского моря для двух рассматриваемых термических уровней. В оптимум голоцена годовая сумма осадков составляла 277 мм/год, приток рек — 711 мм/год, подземный сток 14 мм/год. В оптимум микулинского межледниковья осадки составляли 327 мм/год, приток рек 778 мм/год, подземный сток 14 мм/год.

Сложнее обстоит дело с оценкой расходной части в водном балансе, и в частности с определением стока из Каспия в залив Кара-Богаз-Гол. Несомненно, он был большим, так как увеличивалось количество осадков. До перекрытия Кара-Богаз-Гола плотиной на сток в залив из моря приходилось примерно 5,6 % от величины осадков и притока рек.

Можно полагать, что и в рассматриваемые эпохи процентное соотношение между осадками и притоком рек, с одной стороны, и стоком в Кара-Богаз-Гол — с другой, было сходным. Однако для надежности допустим, что в оптимум голоцена (т. е. при одноградном повышении общего термического уровня) сток воды из моря в залив увеличился на 10 %, т. е. составлял примерно 60 мм/год, а для более высокого двухградусного повышения общего термического уровня (оптимум микулинского межледниковья) даже удваивался, т. е. составлял примерно 110 мм/год.

Остается оценить величину испарения с поверхности Каспийского моря. Для этого можно воспользоваться связью между месячным испарением и средней месячной температурой, которая может быть получе-

на для рассматриваемых отрезков времени путем интерполяции данных о палеотемпературах января и июля.

Проведенные расчеты показали, что в оптимум голоцена при температурах января примерно минус 4° (испарение примерно 20 мм) и июля около 24° (испарение 125 мм) испарение за год составляло около 915 мм, а в оптимум микулинского межледниковья при температуре января близкой к минус 5° (испарение около 18 мм) и температуре июля около 24° (испарение 125 мм) испарение составляло примерно 902 мм.

Теперь мы располагаем данными о всех компонентах приходной и расходной частей водного баланса Каспийского моря, рассчитанного для климатических оптимумов голоцена и микулинского межледниковья.

В фазу климатического оптимума голоцена приход Каспийского моря составлял 1002 мм/год, а расход 975 мм/год, т. е. уровень моря мог повышаться на величину более 25 мм/год, а в оптимум микулинского межледниковья, когда приход составлял 1119 мм/год, а расход — 1012 мм/год, уровень Каспия мог повышаться на величину более 100 мм/год. Приведенные оценки повышения уровня моря скорее близки к минимальным, поскольку не учитывалась положительная составляющая стока других рек, кроме Волги.

Таким образом, расчетные данные показывают, что в оптимум голоцена и в оптимум микулинского межледниковья уровень Каспийского моря не падал, а повышался, и чем выше была средняя глобальная температура, тем быстрее трансгрессировал Каспийский бассейн. Отсюда можно сделать заключение о том, что лишь при небольших потеплениях, как, например, в 30—40-е годы XX в., уровень Каспия мог реагировать по-другому — он понижался, но при потеплениях масштаба межледниковый уровень повышался. Полученные расчеты хорошо согласуются с палеогеографическими данными об изменении уровня Каспийского моря. Оптимуму голоцена соответствует Гоусанская трансгрессия, в максимум которой уровень Каспийского моря был выше современного на 6—10 м, а оптимуму микулинского межледниковья — конец Позднехазарской трансгрессии, когда уровень Каспия повышался на величину до 40 м.

Основанные на палеоклиматических данных расчеты впервые дают теоретическое обоснование механизма возникновения трансгрессивных фаз Каспийского моря

в межледниковья. Полученные нами материалы позволяют считать, что при повышении средней глобальной температуры на 1° за счет антропогенного фактора возможно повышение уровня Каспийского моря, соответствующее оптимуму голоцена, а при повышении температуры на 2° — более быстрое повышение уровня Каспия, до высоты, соответствующей оптимуму микулинского межледниковья.

Эти результаты необходимо учитывать при обсуждении проектов крупномасштабного перераспределения стока и их последствий. Очевидно, что в случае существенного глобального потепления обмеление Каспию не угрожает. Скорее, нужно проявить заботу о состоянии речного стока в самом бассейне Волги и других рек средней полосы.

НУЖНА ЛИ ПЕРЕБРОСКА ВОДЫ В КАСПИЙ ?

Г.С.Голицын

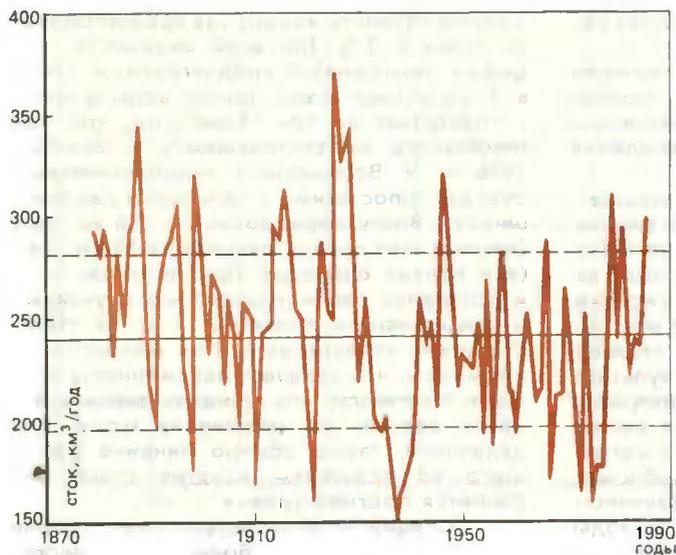
В СПОМНИМ, почему, несмотря на недостатки в изучении экологических и экономических аспектов, переброска северных рек в Волгу считалась одно время почти решенной. Дело в том, что ее целью было поддержание явно падавшего в 30—70-е годы уровня Каспийского моря. По сделанным в то время прогнозам, эта тенденция к уменьшению уровня должна была сохраниться и в дальнейшем. Но уровень Каспия, несмотря на прогнозы, с 1977 г. «пополз» вверх. Мы попытаемся здесь рассмотреть, от чего зависит уровень Каспийского моря, как он менялся со временем, как был сделан прогноз уровня Каспия и каковы результаты этого прогноза, а также коснуться некоторых вопросов экономии воды и будущих изменений климата. В основе статьи лежат выводы, полученные группой специалистов Академии наук СССР, Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова и др. научных учреждений под руководством вице-президента АН СССР академика А. Л. Яншина в 1985—1986 гг.



Георгий Сергеевич Голицын, член-корреспондент АН СССР, заведующий отделом теории климата Института физики атмосферы АН СССР. В 1958 г. окончил физический факультет Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Специалист в области геофизической гидродинамики, планетных атмосфер, теории климата и его изменений. Член Комитета советских ученых в защиту мира, против ядерной угрозы. Член Объединенного научного комитета Всемирной метеорологической организации и Международного совета научных союзов, руководящего Всемирной программой исследований климата.

ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ МОРЯ

Каспий — крупнейший в мире внутренний водоем, не соединенный с Мировым океаном. Его уровень определяется притоком вод впадающих рек, осадками и испарением с площади его зеркала. Эти величины зависят от погодных условий в бассейнах рек и над самим морем. Имеющиеся в нашем распоряжении данные примерно на



Годовой сток Волги (1881—1984 гг.). Очевидны резкие его флуктуации с абсолютным минимумом — 148 км³/год и максимумом — 370 км³/год. Точность определения гидрологами речного стока за год считается равной 3—5 %, что для Волги составляет 7—12 км³/год. Пунктиром показаны среднеквадратичные отклонения, внутри которых кривая «проводит» примерно 2/3 времени.

сто лет позволяют считать, что они сильно колеблются год от года¹. В среднем за этот отрезок времени Волга давала Каспию 240 км³ в год, а все впадающие в него реки, включая Волгу, — 313 км³. При этом сток Волги резко менялся, минимальная его величина 148 км³, а максимальная — 370 км³ в год. Поскольку большая часть стока Волги формируется вдали от моря, эта величина связана с испарением с зеркала Каспия непостоянной зависимостью.

Существуют данные об уровне моря с 1760 г., но наиболее надежны измерения, проводимые с 1890 г. За столетний же отрезок времени уровень Каспия менялся в пределах 3,5 м. Особенно сильно он падал в 1933—1940 гг. (на 1,7 м) и поднимался в 1977—1985 гг. (на 1,1 м)². При этом в первом случае падения определялись уменьшением стока Волги, а во втором 1/3 подъема его уровня — увеличением этого стока (13 см прибавились к уровню Каспия после перекрытия в 1980 г. залива Кара-Богаз-Гол). Остальные доли изменения уровня зависели соответственно от повышения или понижения так называемого слоя видимого испарения, т. е. разности между истинным испарением и осадками. По мно-

голетним данным, он считается равным 76 см в год (96-сантиметровый слой истинного испарения минус 20 см осадков).

За последние 9 лет годовой слой видимого испарения уменьшился в среднем на 6,5 см, так как количество осадков увеличилось (в период с 1978 по 1984 г. в среднем на 25 %).

Таким образом, колебания уровня Каспийского моря обусловлены весьма тонкими нарушениями баланса между речным стоком, осадками и испарением. Если в 1977 г. среднее значение уровня Каспия было минус 29,04 м относительно уровня Мирового океана, то в 1985 г. оно составило минус 27,95 м, в 1986 г. уровень достиг минус 27,86 м). Заметим, что при изменении уровня Каспийского моря всего на 10 см объем воды в нем меняется на 38 км³.

Повышение уровня уже привело к разрушению берегов, затоплению или подтоплению береговых сооружений в ряде мест. На п-ове Бузачи на восточном берегу Каспия построена 30-километровая дамба для защиты нефтепромыслов от моря. За первое полугодие 1986 г. уровень моря был на 13 см выше, чем за тот же период 1985 г. Продолжение подъема приведет к огромному ущербу, поскольку в большинстве мест освоены и застроены морские террасы, возникшие не только в 20-х, но и в 40-х годах, когда уровень моря был вблизи отметки минус 28 м. Поэтому уже довольно давно считают, что отметки уровня между минус 28,5 и минус 29,0 являются оптимальными для сло-

¹ Крицкий С. Н., Коренистов Д. В., Раткович Д. Я. Колебания уровня Каспийского моря. М., 1975.

² По оценкам специалистов из Института водных проблем АН СССР, вероятность такого падения — 0,1 %, а повышения — 1,5 %. См.: Раткович Д. Я. // Водные ресурсы. 1986. № 5. С. 3—23.

жившейся системы народного хозяйства региона.

Уровень Каспия оказывает огромное влияние на рыбное, портовое и коммунальное хозяйство, береговую и морскую добычу нефти, рекреационные учреждения и т. п.

Особую тревогу вызывало и вызывает снижение в последнее десятилетие уловов рыбы, которой всегда славился Каспий (за исключением осетровых, сохранных на прежнем уровне благодаря целой системе проводимых мероприятий). Общее же снижение уловов было связано не столько с падением уровня Каспия, в результате которого сократилась акватория северной, наиболее продуктивной части моря, сколько с перекрытием плотинами путей миграции проходных и полупроходных рыб к местам нерестилищ, с сокращением количества паводковых вод, с загрязнением воды и донных отложений и т. д., в результате чего гибнет большое количество молодежи в низовьях рек.

В истории Каспия известны периоды (вторая половина I тысячелетия н. э.), когда уровень моря был на 4 м ниже современного. На этой глубине найдены остатки крепостных стен в Дербенте. Однако рыбные популяции прекрасно пережили и такие опускания. Более того, есть геологические свидетельства, что уровень моря в течение последних 2—3 млн лет колебался в пределах ± 50 м от современного.

В нашем столетии так называемая проблема Каспия возникла в те самые 30-е годы, когда уровень моря резко упал. Эта тенденция сохранялась довольно долгое время. Разрабатывались некоторые варианты прогнозов дальнейшего понижения уровня. Один из них был использован для обоснования необходимости переброски части стока северных рек в Волгу.

РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ПРОГНОЗА

Методика прогноза была разработана в Институте водных проблем АН СССР. В ней изменения уровня моря связывают с притоком воды рек, выпадающих в Каспий, с учетом изъятий части их стока, видимого испарения с площади зеркала водоема и оттока в залив Кара-Богаз-Гол. В течение 1980—1984 гг. этот отток был «отключен», а с 1985 г. в залив подается около 2 км^3 в год, что при современной площади моря около 380 тыс. км^2 эквивалентно понижению уровня примерно на $0,5 \text{ см/год}$. Заметим, что даже при максимальной совре-

менной точности измерения среднегодового стока в 3% (по всей видимости, эта цифра завышена) и среднегодовом стоке в 313 км^3 , мы знаем приток воды в море с точностью до $10\text{—}12 \text{ км}^3/\text{год}$, что, как отмечалось на состоявшемся в октябре 1986 г. V Всесоюзном гидрологическом съезде, сопоставимо с объемами намечавшихся в Волгу перебросок — $5,8 \text{ км}^3/\text{год}$ (первый этап первой очереди) и $19 \text{ км}^3/\text{год}$ (вся первая очередь). При прогнозе сток и испарение рассматривают как случайные и стационарные процессы, т. е. их статистические характеристики не меняются со временем, что означает неизменность климата. Считается, что площадь зеркала линейно зависит от наполнения моря. Для заданного, также обычно линейно растущего со временем изъятия стока рек строится прогноз уровня³.

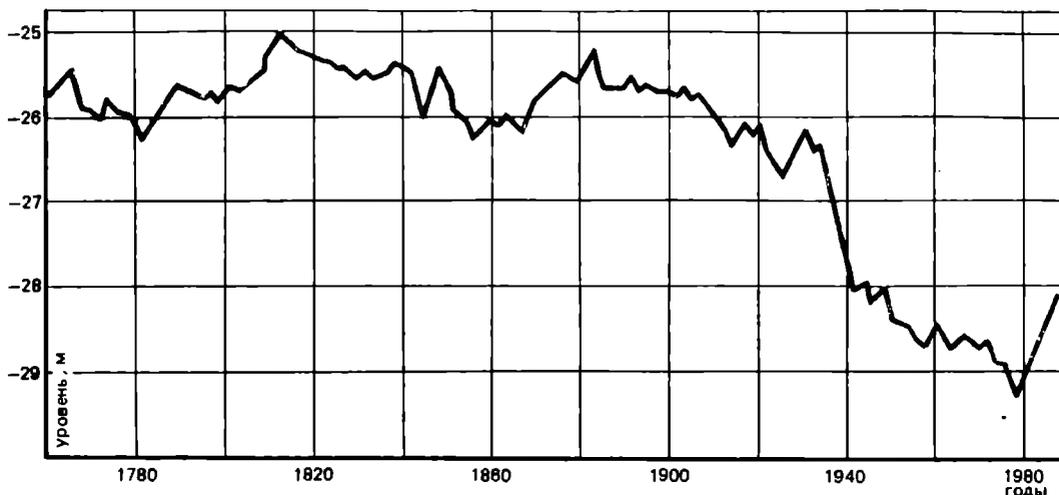
Специалисты по математике и теории управления высказали большое количество критических замечаний по этой методике, а члены Отделения математики АН СССР отмечали непригодность этой методики для обоснования воднохозяйственных мероприятий.

Всякое описание природных процессов является модельным, и применимость модели к реальности можно оценить, лишь сравнивая результаты моделирования с ходом самого процесса. В 1985 г. проверка методики прогноза уровня Каспия была проделана на материале прошлого Л. Ф. Зеликиной и М. И. Зеликиным⁴. Именно эта методика применялась для прогноза уровня Каспия вплоть до 2050 г.⁵ Прогнозы давались начиная с 1915 г., с этой поры уровень моря стал вычисляться по данным четырех водомерных постов, двух на западном и двух на восточном берегах Каспия для исключения нагонных и других явлений. С учетом безвозвратных изъятий стока рек из 44 случаев прогноза до настоящего времени лишь в 13 случаях реальный ход уров-

³ Привальский В. Е. Климатическая изменчивость. М., 1985.

⁴ Отметим, что даже такое, на первый взгляд, несущественное улучшение методики, как отказ от линейной зависимости между площадью и объемом моря и замена ее кубической интерполяцией, заметно улучшает качество прогнозов на прошлом материале. Зеликин М. И., Зеликина Л. Ф., Шульце Е. О прогнозировании режимов замкнутых водоемов // Первый всемирный конгресс Общества математической статистики и теории вероятностей им. Д. Бернулли. Тезисы. М., 1986. Т. 1. С. 409.

⁵ Березнер А. С. Территориальное перераспределение речного стока Европейской части РСФСР. Л., 1985. С. 160.



Уровень Каспийского моря с 1760 г. За последние сто лет он менялся в пределах 3,5 м. Особенно заметны падение уровня в 1933—1940 гг. на 1,7 м и подъем в 1977—1985 гг. на 1,1 м.

ня моря не выходил за уровни обеспеченности (доверительные интервалы) 90 % и 10 %, а в 15 случаях реальный уровень выходил за интервалы 1 % и 99 %, т. е. происходили события, очень маловероятные с точки зрения методики. Пример относительно благополучного прогноза приведен на одном из наших рисунков. Он начинается с 1948 г., и в большинстве лет, кроме 1950—1957 гг., фактический уровень отличался от предсказываемого среднего не более чем на 90 см и не выходил за пределы доверительного интервала 90 % и 10 %. Однако эти 90 см слишком много значат для Каспия, чтобы считать такой прогноз удовлетворительным для решения народнохозяйственных задач.

В начале 1986 г. такую же проверку провели и авторы методики прогноза. Прогнозы уровня давались на 30 лет, начиная с 1890 г., при этом начало отсчета меняли на 5 лет для каждого последующего прогноза. Из 19 случаев этих прогнозов реальная кривая изменений уровня Каспия лишь в 9 случаях не вышла за доверительные интервалы 10 % и 90 %. Это означает, что в 10 случаях из 19 также создавались маловероятные с точки зрения прогноза ситуации. В уже упомянутой работе Д. Я. Ратковича дается прогноз уровня Каспия с 1830 г. по настоящее время. Очень интересно, что согласно этому прогнозу уровень с 1830 по 1930 г. должен был в среднем упасть на 1,5 м, чего в реальности не произошло. По всей видимости, этому можно дать два взаимно дополняющих объяс-

нения: или плохо знаем статистику компонент водного баланса моря, или и здесь сказываются недостатки методики прогноза.

Таким образом, существующая методика прогноза уровня Каспийского моря неудовлетворительна и не может быть использована для прогноза на сколько-нибудь длительные сроки. Это связано со статистической природой явления, которая, строго говоря, позволяет делать прогноз всего на несколько лет.

К тому же имеется еще одно важное обстоятельство, характерное для замкнутых водоемов. Если речной сток не изменяется со временем, то при его равенстве в среднем с видимым испарением уровень моря стабилизируется вблизи так называемого уровня тяготения. Существование такого уровня определяется обратной связью между площадью зеркала моря и полным испарением с него — чем больше площадь, тем больше суммарное испарение и, следовательно, меньше запас воды в море и его площадь. Если сток уменьшить на постоянную величину, то водоем за какой-то срок (в случае Каспия примерно за 35 лет) «приспособится» к этому уменьшенному стоку.

Одной из причин необходимости переброски воды в Волгу считали также увеличение солености Азовского моря, которое связывалось с ростом изъятий воды из Дона и Кубани (чтобы распреснить Азовское море предполагалось даже строительство второго канала Волга — Дон). Однако и этот аргумент не выдержал проверки

временем. Соленость моря действительно росла со значительными колебаниями до 1976 г., когда она достигла $13,6\text{‰}$, но вопреки прогнозам к 1985 г. она упала до нормальной для этого моря величины $11,4\text{‰}$. На самом деле соленость Азовского моря зависит в основном от обмена его вод с водами Черного моря через Керченский пролив.

Поскольку все прогнозы, лежащие в основе проекта переброски, основываются на росте забора воды, имеет смысл остановиться на структуре водопотребления в нашей стране и ее тенденциях.

ЭКОНОМИЯ ВОДЫ

До недавнего времени с каждым годом расходовалось все больше воды. По данным статистических ежегодников «Народное хозяйство СССР», в 1965 г. забор свежей воды из рек и водоемов составил 200 км^3 , в 1975 — 295, а в 1980 г. мы достигли максимума — 344 км^3 , с 1981 г. началось медленное снижение забора, и в 1984 г. он составил 323 км^3 . Потребление же свежей воды с 1980 по 1984 г. сократилось с 288 до $274\text{ км}^3/\text{год}$. Очевидно, что разность между забором и потреблением воды составляет чистые потери, однако и они сокращаются в абсолютном и относительном выражении с 56 км^3 и $16,3\%$ в 1980 г. до 50 км^3 и $15,4\%$ — в 1984 г. Эта прогрессивная тенденция совершенно не учитывалась в обоснованиях переброски. Отметим, что во всех развитых странах отмечаются еще более радикальные изменения в потреблении воды. Так, в США за вторую половину 1970-х годов оно сократилось на 40% , а в Швеции — даже в $2,5$ раза. Это происходит за счет улучшения техники полива земель, введения оборотного водоснабжения и т. п.

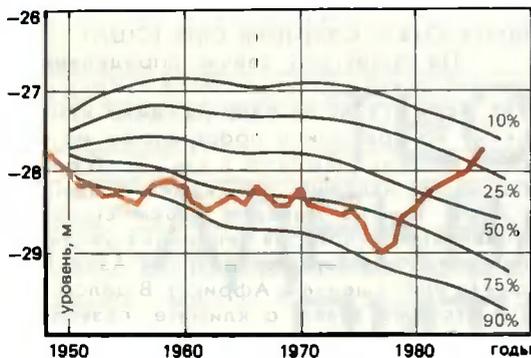
Курс на экономию воды полностью отвечает линии XXVII съезда КПСС на интенсификацию производства и переходу к ресурсосберегающим технологиям. Основным потребителем воды в нашей стране является сельское хозяйство. По материалам V Всесоюзного гидрологического съезда, на его долю приходится более 60% суммарного потребления воды и основная доля безвозвратных потерь стока рек. Поэтому, говоря об экономии воды, надо в первую очередь обратить внимание на сельское хозяйство, и в частности на поливное земледелие. Здесь и таятся огромные резервы экономии, в том числе не требующие каких-либо существенных за-

трат. Например, в последнее время был поднят вопрос о ночных поливах. Кроме выравнивания в течение суток потребления электроэнергии, которое дает ощутимую экономию, была бы и экономия воды. После захода солнца вода испаряется гораздо меньше — нет притока солнечной энергии, воздух вблизи поверхности остывает, его относительная влажность растет, а испарение зависит от разности между относительной влажностью и влажностью насыщения. В результате вода глубже впитывается в почву.

Мы уже упоминали о разнице между забором и потреблением воды и о ее сокращении. Очевидно, однако, что потеря в 1984 г. седьмой части забираемой воды, или 50 км^3 , — величина немалая. В водном хозяйстве потребление 1 км^3 обходится примерно в 4—6 млн руб. Особенно велики потери при орошении. В среднем по стране КПД оросительных систем составляет около 60% , причем на многих оросительных системах КПД гораздо ниже; наблюдается снижение урожайности и засоление земель. Положение усложняется тем, что нигде не используется водомерная аппаратура (вода для сельского хозяйства бесплатная), поэтому фактические расходы по существу не учитываются. Сильно завышены нормы полива. По мнению директора Института водных проблем АН СССР Г. В. Воропаева, удельное потребление воды при орошении может быть снижено не менее чем на $13\text{—}15\%$ в степных и лесостепных районах и не менее чем на $8\text{—}10\%$ в пустынных⁶. Фактически возможности экономии здесь гораздо большие. По данным Комитета народного контроля СССР, в 1982 г. в Астраханской, Волгоградской, Ростовской областях и Краснодарском крае из $11,4\text{ км}^3$ воды, забранной на орошение, $5,2\text{ км}^3$ израсходованы непродуктивно⁷. Другими словами, потери составили 46% . Кстати сказать, можно еще раз вспомнить, что объем ранее планировавшегося первого этапа первой очереди переброски, о котором велись дискуссии, составляет $5,8\text{ км}^3$. Конечно, достижение экономии воды при орошении потребует каких то затрат, однако если их не произвести, то очень много шансов, что дополнительная вода (например, от переброски) будет потеряна, и мы никак не

⁶ Воропаев Г. В. «Дыхание» Каспия // Правда. 1986. 12 февр.

⁷ Аганбегян А. Г. и др. Земля — главное богатство // Правда. 1986. 12 февр.



Пример относительно «хорошего» прогноза изменения уровня Каспия, сделанного Л. Ф. Зеллиной. Фактический уровень (цветная кривая) для большинства лет (кроме 1950—1957) отличается от предсказываемых средних не более чем на 90 см и не выходит за пределы уровней обеспеченности 90 % и 10 %.

заметим ее пользы. Поэтому борьба с потерями воды, как неоднократно отмечалось на упомянутом съезде гидрологов, должна быть первейшей задачей нашего водного хозяйства.

К тому же намечалось перебрасывать воду не прямо на юг, а через Волгу и ее притоки, и нужна она для поддержания уровня Каспия, который должен бы опуститься из-за роста изъятий воды из Волги и других рек. Сток рек и уровень Каспия, как мы видели, — сильно флуктуирующие величины. За 1890—1969 гг. при среднем стоке в устье Волги $243 \text{ км}^3/\text{год}$, он в среднем изменялся на 45 км^3 , а запасы воды в Каспии — на $52 \text{ км}^3/\text{год}$.

Многokратное превышение размаха колебаний стока Волги и запасов воды в Каспии над намеченным объемом переброски ($5,8 \text{ км}^3/\text{год}$) говорит о том, что этот «сигнал» (переброску) будет очень трудно заметить на фоне естественных колебаний («шума» — как говорят специалисты по теории информации и управления).

Нужно длительное время, чтобы выявить сигнал на фоне шума. По оценкам П. Ф. Демченко и автора этих строк, придется ждать свыше 50 лет, чтобы с вероятностью 95 % обнаружить в запасах воды в Каспии положительное влияние хотя бы половины объема переброски. Заметим, что если мы из Волги забираем $5,8 \text{ км}^3$ для орошения, а переброску делать не будем, то вред для Каспия с той же вероятностью можно инструментально обнаружить на фоне естественных колебаний че-

рез те же 50 лет. Отметим, что в технике или статистике для оценок надежности часто используется вероятность обнаружения эффекта в 99 %, а тогда наши сроки удлинятся до ста лет (конечно, при больших объемах переброски ее влияние на Каспий можно выделить и раньше). Даже если бы климат не изменялся, а воду для орошения из Каспия мы бы тем не менее забирали, выделить влияние забора этой воды на уровень моря на фоне естественных колебаний мы сможем только через десятки лет. Но орошение — лишь одно из комплекса мероприятий, которые проводятся для повышения урожайности и в конечном счете для выполнения Продовольственной программы. Поэтому необходимо добиваться прежде всего эффективного и экономного использования имеющихся водных ресурсов, которые во многом зависят от климата. Что же касается Продовольственной программы, то для ее выполнения не использованы многие другие резервы, в частности достижение проектной урожайности на уже орошаемых землях, снижение потерь выращенной продукции на всем пути от поля до потребителя и т. д., о чем говорится в решениях XXVII съезда КПСС.

ПРОГНОЗЫ КЛИМАТА

Наука о климате — одна из самых быстро и широко развивающихся в последние десятилетия, и здесь мы лишь кратко остановимся на полученных результатах, имеющих отношение к нашей проблеме⁴. За последние сто лет средняя температура поверхности земного шара повысилась примерно на полградуса. Такой темп изменений беспрецедентен в истории Земли. Он связывается с ростом концентрации углекислого газа в атмосфере, сначала из-за сведения лесов, а затем, в основном, сжигания ископаемого топлива, в результате чего эта концентрация увеличилась за последние 150 лет примерно на 25 %. Углекислый газ прозрачен для солнечного излучения и хорошо поглощает тепловое излучение поверхности и нижних слоев атмосферы, что увеличивает парниковый эффект. В последнее время все больший вклад в этот эффект дают фреоны (газы, используемые в холодильных и аэрозольных уста-

⁴ Краткий обзор основных достижений климатологии за последние годы можно найти в работе: Голицын Г. С. // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1986. Т. 22. № 12. С.

новках), метан, озон, окислы азота. В результате в середине XXI в. можно ожидать увеличения среднеглобальной температуры по сравнению с началом нашего века на $1-3^{\circ}$.

Уточнение прогноза изменений температуры и оценка распределения этих изменений по континентам и сезонам являются целью Всемирной программы исследований климата, в которой участвует и наша страна.

Более теплая атмосфера способна содержать большее количество влаги. Современные численные модели климата для более теплой планеты предсказывают усиление гидрологического цикла, в частности увеличение осадков и поверхностного стока. По расчетам, количество осадков увеличится в основном зимой и в высоких широтах. По некоторым моделям, усилится летняя засушливость, причем одни из них показывают, что она будет наблюдаться к югу от 50° с. ш. в центральных частях континента, а другие — к югу от 35° с. ш. Отметим, что ряд моделей вовсе не показывает уменьшения запаса влаги в почве. Нужно, однако, иметь в виду, что современные численные модели климата еще ненадежны в деталях предсказаний географических и сезонных изменений. Оценить степень правильности прогноза хотя бы в общих чертах изменений гидрологического режима помогают данные палеореконовструкций более теплых климатических эпох.

Ближайшими по времени аналогами климата, ожидаемого в недалеком будущем (в начале и первой половине XXI в.), являются период оптимума голоцена (5,5 тыс. лет назад), со средней температурой примерно на градус выше современной, и предыдущий микулинский межледниковый период (120 тыс. лет назад), когда средняя температура была на 2° выше, чем сейчас. Оба периода характеризовались повышенной (по сравнению с соседними) концентрацией углекислого газа в атмосфере. Оба периода в среднем были более влажными, а уровни внутренних водоемов в средних широтах выше современных. В частности, на несколько метров был выше уровень Каспийского моря.

Пока нельзя сказать с уверенностью, является ли наблюдаемое уже девятый год подряд повышение уровня Каспия отражением процесса потепления климата. Кстати, Каспий в этом смысле не единственный водоем. В последние годы на 6 м поднялся уровень Большого соленого озера, что гро-

зит многомиллиардными убытками столице штата Юта г. Солт-Лэйк Сити (США).

По принятому сейчас определению, климат — это статистика погод за тридцать лет. Хотя осадки — один из самых изменчивых во времени и пространстве метеорологических элементов и данные об осадках не так надежны, как, скажем, о температуре, тем не менее в нашем столетии отмечается некоторая тенденция увеличения осадков в Европе, западной Азии, Индии (и уменьшение в Африке). В целом то, мы что уже знаем о климате, позволяет считать в перспективе подъем уровня Каспийского моря гораздо более вероятным, чем опускание, хотя, конечно, возможны и временные понижения уровня. За эти 9 лет запасы воды в море пополнялись на $40-45 \text{ км}^3/\text{год}$, несмотря на ежегодные изъятия из впадающих в Каспий рек $35-40 \text{ км}^3$ воды. Таким образом, если бы эти девять лет вода не изымалась из стока, уровень Каспия был бы еще почти на метр выше, а это уже было бы катастрофой для прибрежных районов. К сожалению, это весьма вероятная возможность пока нигде даже не обсуждается, хотя в ряде мест подъем уровня уже потребовал больших дополнительных затрат.

*

Итак, по сравнению с 1977 г. Каспий накопил около 450 км^3 воды, намечавшийся объем переброски мог бы дать такой объем лишь за 80 лет. Объем переброски вдвое меньше точности измерений годового стока рек в море и почти вдесятеро меньше естественной межгодовой изменчивости запасов воды в нем, поэтому при стационарном климате пришлось бы ждать десятилетия, чтобы с какой-то уверенностью оценить пользу проведенного мероприятия. Основным потребителем воды в народном хозяйстве является оросительная сеть, и здесь потери также превосходят объем переброски. Даже этот один факт говорит о необходимости начать не с переброски, а с борьбы именно с потерями воды. Наконец то, что мы знаем о климате, указывает на большую вероятность дальнейшего повышения уровня Каспия и на необходимость подготовки к нему с целью уменьшения ущерба прибрежным районам.

ТЕОРИЯ АДЕКВАТНОГО ПИТАНИЯ

А.М.Уголев

ПИТАНИЕ — одна из центральных проблем, решение которой составляет предмет постоянных забот человечества. Как говорил И. П. Павлов в своей Нобелевской речи (1904 г.), кусок хлеба насущного является, был и остается одной из самых важных проблем жизни, источником страданий, иногда удовлетворения, в руках врача — могучим средством лечения, в руках людей несведущих — причиной заболеваний. По-видимому, едва ли не самое большое заблуждение — убеждение в том, что вопрос правильного питания человека можно решить, создав достаточное количество качественных пищевых продуктов. Обширный анализ свидетельствует, что свободный выбор таких продуктов в большинстве случаев приводит к нарушениям структуры питания, которые в зависимости от многих генотипических характеристик провоцируют развитие ряда тяжелых заболеваний (см. табл.). Различные формы патологии, вызванные неправильным питанием, по-видимому, распространены в современном мире гораздо шире, чем сердечно-сосудистые заболевания и злокачественные опухоли, в происхождении которых дефекты питания также играют немаловажную роль. Не исключено, что в значительной мере заболевания, связанные с нарушениями питания, обусловлены неправильным вскармливанием детей на ранних стадиях их развития.

В питании человека, этой небольшой области биологии, известны две теории. Первая возникла во времена античности и в значительной мере связана с именами Аристотеля и Галена. Вторая — классическая теория, часто называемая теорией сбалансированного питания (ТСП), появилась более 200 лет назад. Эта теория, пришедшая на смену античной, доминирует в настоящее время и является одним из самых замечательных достижений экспериментальной биологии и медицины.

В данной статье рассмотрена формирующаяся сейчас теория адекватного питания (ТАП), которая включает в себя классическую теорию как важную часть. Чтобы понять различия между ТСП и ТАП, понять, почему первая из них составляет часть второй, необходимо охарактеризовать не только основные положения



Александр Михайлович Уголев, академик, заведующий лабораторией физиологии питания Института физиологии им. И. П. Павлова. Занимается исследованиями в области физиологии пищеварения и питания, открыл мембранное пищеварение, обнаружил общие эффекты кишечной гормональной системы, развил ряд общепрофизиологических теорий, в том числе теорию происхождения и эволюции пищеварительных процессов, блокуют гипотезу организации и эволюции физиологических функций, экскреторную теорию происхождения секреции, метаболическую теорию аппетита, теорию адекватного питания, сформулировал основные положения новой междисциплинарной науки — трофологии. Автор многих монографий. Лауреат премии им. И. П. Павлова и им. И. М. Сеченова. Почетный член Британского и Венгерского гастроэнтерологических обществ, Чехословацкого общества им. Я. Э. Пуркине.

Таблица*

Болезни и нарушения, связанные с избыточным потреблением	
углеводов (в том числе рафинированных)	белков
<p>Заболевания сердечно-сосудистой системы</p> <p>Заболевания желудочно-кишечного тракта (язвы, гастрит, энтерит, язвенный колит, геморрой)</p> <p>Хронический бронхит, эмфизема легких</p> <p>Аппендицит, холецистит, пиелонефрит (вызванные кишечной палочкой)</p> <p>Желудочные и почечнокаменные болезни</p> <p>Диабет</p> <p>Гиперлипидемия</p> <p>Токсикоз беременности</p> <p>Эпилепсия, депрессия</p> <p>Рассеянный склероз</p> <p>Пародонтоз</p>	<p>Заболевания сердечно-сосудистой системы</p> <p>Диабет</p> <p>Гиперхолестеринемия</p> <p>Токсикоз беременности</p>

* По: Naenel H. Human nutritional needs with special reference to balance between protein, carbohydrate, fat and vitamins at different levels of food supply // Workshop of food and nutrition. Budapest, 1979. P. 33—48 (с изменениями).

обеих теорий, но также показать их следствия и практические рекомендации.

ТЕОРИЯ СБАЛАНСИРОВАННОГО ПИТАНИЯ

Эта теория основана на балансных подходах к оценке пищи и режиму питания¹. Суть ТСП можно свести к нескольким фундаментальным постулатам:

идеальным считается питание, при котором приток пищевых веществ соответствует их расходу;

поступление веществ обеспечивается разрушением структур пищи и всасыванием полезных компонентов, необходимых для метаболизма, пластических и энергетических потребностей организма;

утилизация пищи осуществляется самим организмом;

пища состоит из нескольких компонентов, различных по физиологическому значению: полезных, балластных (от них она может быть очищена) и вредных, или токсических;

метаболизм определяется уровнем концентрации аминокислот, моносахаридов, жирных кислот, витаминов, некоторых солей (поэтому можно создать элементные, или мономерные, диеты);

многие полезные вещества, которые всасываются и затем усваиваются, образуются в результате ферментативного гидролиза сложных органических соединений за счет полостного (внеклеточного) и внутриклеточного пищеварения.

ТСП лежит в основе всех современных представлений о питании, она научно обосновала потребности в пище по энергетическим² и пластическим компонентам, позволила преодолеть многие дефекты и болезни, связанные с недостатками питания и т. д. На основе ТСП созданы пищевые технологии, различные пищевые

¹ Подробнее о ТСП см.: Уголев А. М. Эволюция пищеварения и принцип эволюции функций. Элементы современного функционализма. Л., 1985; Покровский А. А. Роль биохимии в развитии науки о питании. Некоторые закономерности ассимиляции пищевых веществ на уровне клетки и целостного организма. М., 1974; Петровский К. С. Алфавит здоровья. О рациональном питании человека. М., 1982; Каневский Е. М., Краснянский Э. В. и др. О продуктах и культуре потребления. М., 1984; Field J. O. // Ann. Rev. Nutr. 1985. Vol. 5. P. 143—172.

² Le Magnen J. // Physiol. Rev. 1983. Vol. 63. P. 314—386; Heusner A. A. // Ann. Rev. Nutr. 1985. Vol. 5. P. 267—293.

рационы для всех групп населения с учетом физических нагрузок, климатических и других условий жизни; обнаружены ранее неизвестные незаменимые аминокислоты, витамины, микроэлементы и т. д. На ней базируются все промышленные, агротехнические и медицинские мероприятия, которые сводятся к тому, что улучшить свойства пищевых продуктов можно, увеличив содержание полезных веществ и уменьшив долю балластных. На этом построены технологии современной переработки продуктов животноводства и растениеводства (в том числе зерновых культур), приготовление рафинированных продуктов и т. п. Вместе с тем следствием ТСП было несколько фундаментальных ошибок.

Одна из них — создание улучшенной пищи за счет обогащения пищевых продуктов веществами, непосредственно участвующими в обмене, и удаления балластных и вредных веществ. Поэтому, чтобы приблизиться к идеальной пище, современные хлеб, крупы, масло, сахар, соки и многие другие продукты питания рафинированы. Однако этот путь ведет к формированию многих, подчас тяжелых нарушений, которые можно охарактеризовать как болезни цивилизации.

Другая ошибка — элементное питание. Идея сделать пищу максимально полезной уже в XIX в. трансформировалась в идею создать комплекс веществ, необходимых для поддержания жизни и не нуждающихся в переработке, корректировке состава и т. д. Предполагалось промышленно изготовить такую идеальную пищу, которая состояла бы из оптимальных смесей всасываемых элементов, преимущественно мономеров.

Третья ошибка — парентеральное питание, т. е. прямое введение в кровь (минуя желудочно-кишечный тракт) полезных веществ. Представление о таком питании было сформулировано в 1908 г. французским химиком П. Э. М. Бертло и считалось одной из главных задач будущего.

И, наконец, ошибки в режиме питания. По рекомендациям ТСП, режим должен обеспечивать поступление сбалансированных пищевых веществ через различные промежутки времени, чтобы не допускать больших потерь пищи. Режим питания — та область, где были сделаны наименьшие ошибки, но принесена и наименьшая польза.

Следовательно, во время наибольших успехов ТСП зарождался и усиливался ее

кризис, который привел к появлению новой теории — теории адекватного питания³. Эта теория, как показано уже в настоящее время, позволяет решить ряд теоретических и прикладных задач, перед которыми были бессильны традиционные подходы.

ТЕОРИЯ АДЕКВАТНОГО ПИТАНИЯ

Кризис ТСП и открытие некоторых важных, ранее неизвестных механизмов (эндоцитозного и мембранного пищеварения), различных видов транспорта пищевых веществ⁴, общих эффектов гормональной системы кишечника, результаты сопоставления характеристик безмикробных и обычных животных, данные прямых исследований влияния элементных диет на организм и т. д. привели к пересмотру ряда ее основных положений и к возникновению ТАП. Перечислим ее основные постулаты:

питание поддерживает молекулярный состав и возмещает энергетические и пластические расходы организма на основной обмен, внешнюю работу и рост (это общий постулат для ТСП и ТАП);

нормальное питание обусловлено не одним потоком полезных веществ из желудочно-кишечного тракта во внутреннюю среду организма, а несколькими потоками питательных и регуляторных веществ;

необходимыми компонентами пищи служат как полезные, так и балластные вещества;

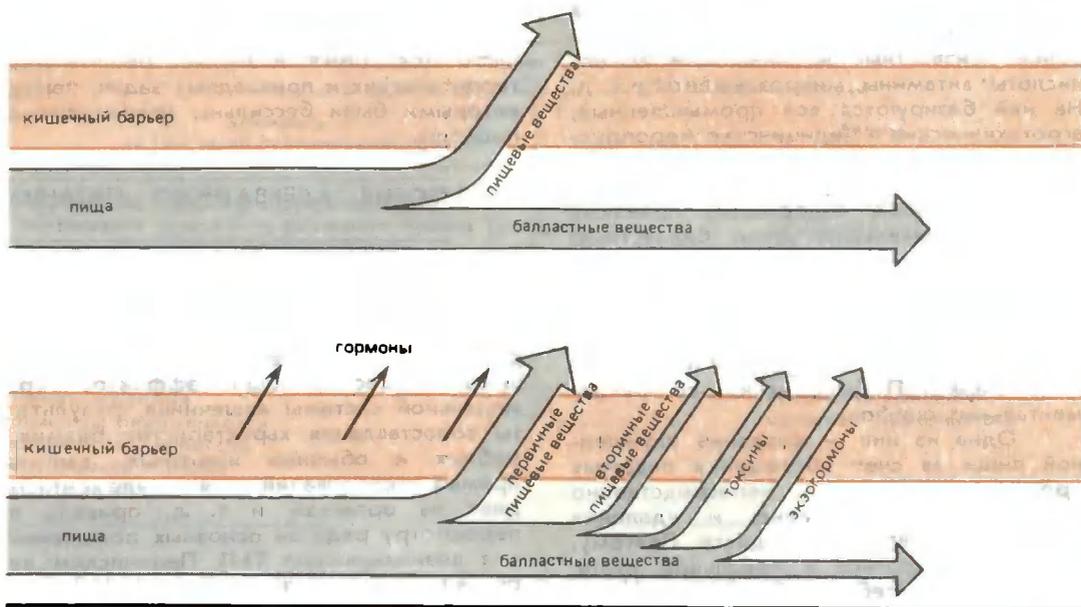
в метаболическом и особенно трофическом отношении ассимилирующий организм рассматривается как надорганизм;

в организме поддерживаются симбиотические отношения с микрофлорой кишечника;

питательные вещества образуются из структур пищи при ферментативном расщеплении ее макромолекул за счет полостного и мембранного пищеварения (в ряде случаев — внутриклеточного), а также синтеза новых соединений, в том числе незаменимых.

³ См.: Уголев А. М. Эволюция пищеварения...; Он же // Клинич. медицина. 1986. № 6. С. 15—24.

⁴ О типах пищеварения и видах транспорта см.: Уголев А. М. Трофология — новая междисциплинарная наука // Природа. 1987. № 2. С. 3—15.



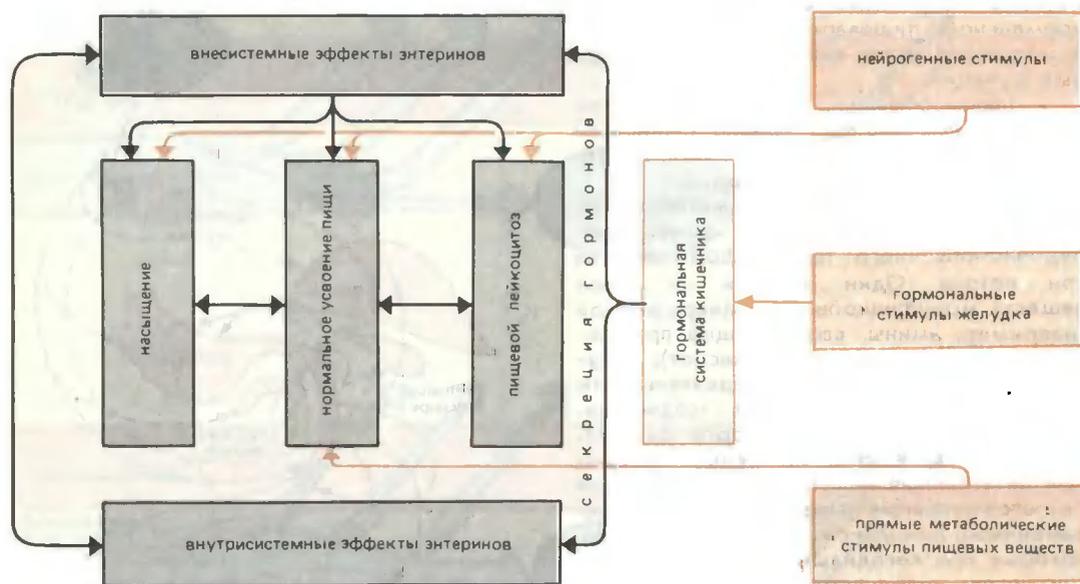
Потоки веществ из желудочно-кишечного тракта во внутреннюю среду организма по теории сбалансированного питания (вверху) и по теории адекватного питания.

Сопоставим основные положения ТАП с представлениями классической теории. Прежде всего, рассмотрим основные потоки, поступающие из пищеварительного тракта во внутреннюю среду организма, с позиций ТСП и ТАП.

Поток питательных веществ. Обязательное условие ассимиляции — гидролиз сложных структур пищи до простых соединений (аминокислот, моносахаридов, жирных кислот и т. д.) в процессе пищеварения. Согласно ТСП, для поддержания жизнедеятельности организма необходим один поток питательных веществ, содержащихся в пище. В соответствии с ТАП чрезвычайно важно, что помимо этого основного потока из желудочно-кишечного тракта во внутреннюю среду поступает по крайней мере еще 5 потоков: поток гормонов и других физиологически активных соединений; три потока бактериальных метаболитов; поток веществ, поступающих с загрязненной пищей. **Поток гормонов и физиологически активных соединений.** Существование этого потока не укладывается в схему ТСП и зна-

чительно меняет представления о механизмах ассимиляции пищи. В сущности поток физиологически активных веществ состоит из двух — эндогенного и экзогенного. В эндогенный поток входят те из них, которые продуцируются эндокринными клетками желудочно-кишечного тракта. Эти клетки секретируют около 30 гормонов и гормоноподобных соединений, которые контролируют не только функции пищеварительного аппарата, но и важнейшие эндокринные и метаболические функции всего организма. Нарушение эндогенного потока приводит к тяжелым последствиям. Так, в конце 50-х — начале 60-х годов нами показано, что даже частичное удаление двенадцатиперстной кишки вызывает заболевание, при котором меняются структуры щитовидной железы, коры надпочечников, гипоталамо-гипофизарной нейросекреторной системы и др., преобладают общие, а не местные нарушения функций организма⁵. После этой операции нарушает-

⁵ Уголев А. М. Энтеринная (кишечная гормональная) система. Л., 1978.



Схема, отражающая влияние энтерина (гормонов и физиологически активных соединений желудочно-кишечного тракта) на нормальное усвоение пищи.

ся специфическое динамическое действие пищи (цикл реакций, необходимых для ее нормального усвоения) и система иммунологических реакций, что приводит к возникновению аллергии на пищевые продукты.

Благодаря эндокринной системе желудочно-кишечного тракта осуществляется связь между поступлением пищи и системами, контролирующими ее ассимиляцию; между системами поглощения пищи и ее переработки; между системами переработки пищи в желудочно-кишечном тракте и системами, которые предохраняют организм от поступления в его внутреннюю среду чужеродных антигенов.

Недавно выяснилось, что в эндокринных клетках желудочно-кишечного тракта синтезируются тиреотропный и адренотропный гормоны, т. е. гормоны, типичные для гипоталамуса и гипофиза, а в клетках гипофиза образуется гастрин⁶. Таким образом, по некоторым

гормональным эффектам гипоталамо-гипофизарная и желудочно-кишечная системы оказались родственными, что не могла учитывать ТСП. Существуют данные, что клетки желудочно-кишечного тракта секретируют некоторые стероидные гормоны⁷. Роль пищеварительного аппарата как эндокринного органа еще более проясняется в связи с открытием эндогенных морфинов — эндорфинов и энкефалинов, которые, как оказалось, вырабатываются не только клетками мозга, но и пищеварительной системы.

Экзогенный поток состоит из физиологически активных веществ, которые преимущественно образуются при гидролизе пищи. Так, при расщеплении белков молока и пшеницы пепсином образуются морфиноподобные вещества — экзорфины. Не исключено, что образующиеся при гидролизе белков пептиды могут в некоторых количествах проникать в кровь и принимать участие в модуляции общего гормонального фона организма. Можно

⁶ Уголев А. М. Эволюция пищеварения... С. 279—282.

⁷ Там же. С. 276—278.

допустить также, что некоторые пептиды, в том числе образующиеся при нормальном пищеварении определенных компонентов пищи, выполняют регуляторные функции.

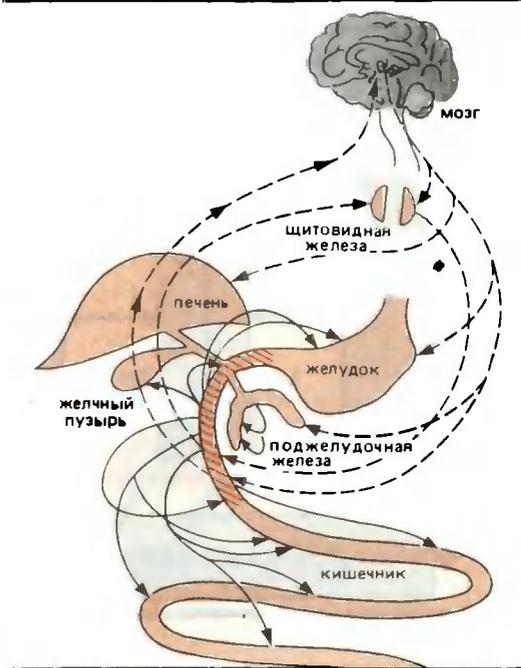
Таким образом, сложный поток гормональных веществ крайне существен для регуляции ассимиляции пищи, а может быть, и жизненно необходим.

Потоки бактериальных метаболитов.

При участии бактериальной флоры желудочно-кишечного тракта формируются три потока. Один из них — поток веществ, модифицированных микрофлорой (например, амины, возникающие при декарбоксилировании аминокислот); другой — поток продуктов жизнедеятельности бактерий; третий — поток модифицированных бактериальной флорой балластных веществ, в который входят вторичные питательные вещества. В этих потоках имеются полезные вещества (витамины, незаменимые аминокислоты и др.); вещества, которые при сегодняшнем уровне знаний считаются индифферентными; и токсические вещества. Именно наличие токсических веществ породило еще сравнительно недавно популярную идею о пользе подавления кишечной флоры. Тем не менее некоторые из них, например токсические амины (кадаверин, октопамин, тирамин, пиперидин, диметиламин, гистамин и др.), образующиеся в пищеварительном аппарате под влиянием бактериальной флоры, обладают высокой физиологической активностью. Однако при различных заболеваниях, в частности дисбактериозах, уровень концентрации аминов может возрастать и вызывать нарушения ряда функций организма.

По-видимому, в ходе эволюции некоторые токсические амины включились в регуляторные системы организма. Известно, например, что гистамин образуется преимущественно в клетках желудка, морфологически сходных с тучными, и контролирует ряд функций гипоталамо-гипофизарной системы, секрецию соляной кислоты и способствует образованию язв желудка. Кроме клеток желудка гистамин образуется в кишечнике за счет бактериальной активности. Поэтому применение антибиотиков ведет к ряду гормональных сдвигов. Многие патологические изменения в организме провоцируются не за счет гиперфункции клеток, вырабатывающих гистамин, а благодаря его избыточному образованию в кишечнике бактериальной флорой.

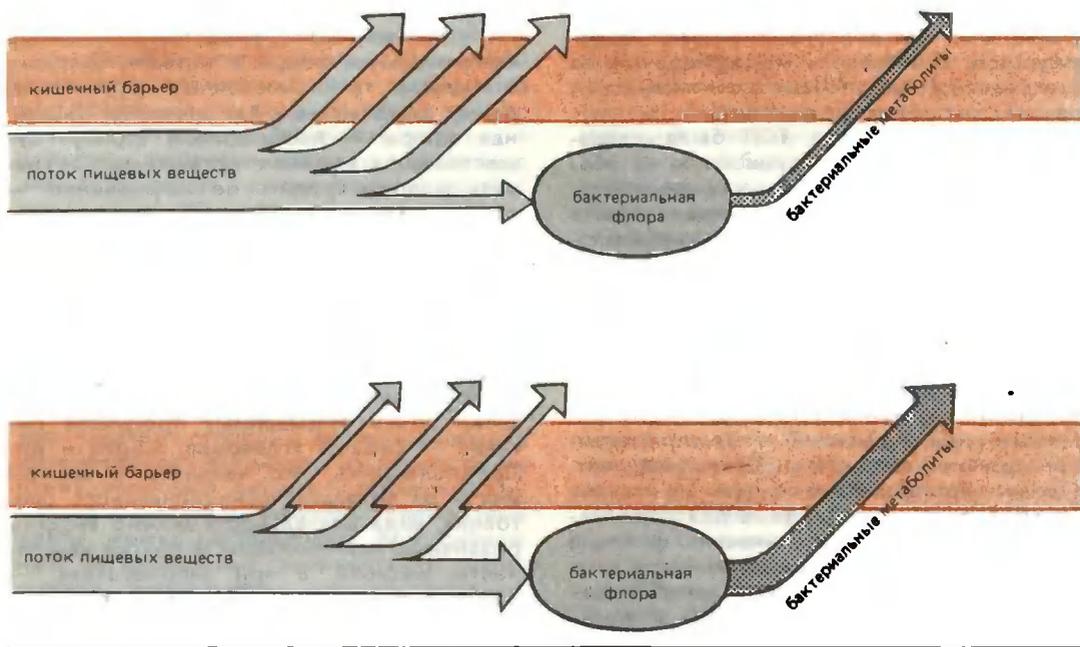
В число вторичных питательных веществ входят витамины, незаменимые ами-



Схема, отражающая действие кишечных гормонов на разные части желудочно-кишечного тракта (показано сплошными стрелками) и другие органы (показано пунктирными стрелками).

нокислоты, углеводы, жиры и т. д. Безмикробные животные, не способные перерабатывать балластные вещества пищи, чрезвычайно чувствительны к колебаниям состава пищи, тогда как обычные весьма устойчивы к ним. О физиологической важности вторичных питательных веществ свидетельствует резкое повышение потребности в витаминах у человека и животных, когда бактериальная флора подавлена антибиотиками.

Балластные вещества, или пищевые волокна. Идея улучшить пищу, удалив эти вещества, основана на ТСП. Однако в действительности рафинированное питание послужило причиной многих распространенных заболеваний. В ходе эволюции питание сформировалось как некая естественная технология, в которой одни компоненты утилизируются, а другие — нет. К не утилизируемым пищевым волокнам относятся,



Соотношение первичных пищевых веществ и бактериальных метаболитов при физиологическом (вверху) и патологическом состоянии организма.

например, целлюлоза, гемицеллюлоза, пектин, лигнин, содержащиеся в овощах, фруктах, неочищенных зернах злаков и ряде других продуктов. Эти соединения играют роль в нормализации работы желудочно-кишечного тракта, влияют на его моторную активность, скорость всасывания пищевых веществ в тонкой кишке, давление в полости органов пищеварительного аппарата, на электролитный обмен в организме, на массу и электролитный состав фекалий и т. д. Наконец, пищевые волокна поддерживают необходимую среду обитания бактерий в кишечнике и служат для них важным источником питания.

Пищевые волокна необходимы не только для работы пищеварительной системы, но и всего организма. Например, обнаружена связь между нарушениями холестерина обмена, образованием кам-

ней в желчном пузыре и широким распространением в развитых странах рафинированных рационов. Ошибки в структуре питания, и в частности потребление рафинированных продуктов, стали одной из причин развития многих тяжелых заболеваний человека. Ряд нарушений, в том числе атеросклероз, гипертония, диабет,— это, во многих случаях, результат не только чрезмерного потребления белков и углеводов, но и следствия недостаточного использования балластных веществ. Существуют сведения, что отсутствие пищевых волокон в диете может провоцировать рак толстой кишки, нарушать не только обмен желчных кислот, но также холестерина и стероидных гормонов.

Профилактика и лечение многих форм патологии желудочно-кишечного тракта и обмена веществ возможны при введении в рацион пищевых волокон. Их

можно использовать для предупреждения и лечения диабета, гипергликемии и ожирения, так как волокна повышают толерантность к глюкозе и модифицируют ее всасывание. Показан также антиоксидантный эффект растительных волокон.

Итак, на основе ТСП были сделаны попытки создать улучшенную и обогащенную пищу за счет удаления балластных веществ. В настоящее время интенсивно разрабатывается противоположное направление — ведутся поиски и создается пища, соответствующая потребностям организма, возникшим в ходе эволюции.

Симбиотические отношения. Согласно ТСП, заселение бактериальной флорой пищеварительного тракта высших организмов — нежелательный и в определенной степени вредный побочный эффект. Однако бактериальная флора не только не вредна, но и необходима для нормального развития физиологических функций организма. Нарушение деятельности микрофлоры приводит к сдвигу метаболического баланса. Высший организм реально существует как надорганизм, состоящий из доминирующего многоклеточного организма, и специфической бактериальной популяции. Между ними существует обмен метаболитами, в состав которых входят пищевые вещества, различные неорганические компоненты, стимуляторы, ингибиторы, гормоны и другие физиологически активные соединения. Вероятно, такая форма существования макро- и микроорганизмов — древнее эволюционное приобретение. Оказалось, что безмикробные животные в метаболическом, иммунологическом и нейробиологическом отношении резко отличаются от обычных и должны быть охарактеризованы как неполноценные. Бактериальная флора служит своеобразным трофическим гомеостатом, или трофостатом, обеспечивающим разрушение некоторых избыточных компонентов пищи и образование недостающих продуктов.

Деятельность нормальной бактериальной флоры пищеварительного тракта может нарушаться при ряде специфических и неспецифических воздействий, в том числе при изменении диеты, при заболеваниях пищеварительного аппарата, при некоторых терапевтических вмешательствах (особенно при использовании антибиотиков), при воздействии различных экстремальных факторов (например, при стрессах, в том числе эмоциональных). Дисбактериозы, возникающие по разным

причинам, провоцируют многие вторичные нарушения.

Формирование представлений о роли бактериальной флоры в питании человека и других многоклеточных организмов имеет фундаментальное значение. Кишечная флора — необходимый атрибут существования сложных организмов; сохранить и предупредить ее загрязнение — одна из важных проблем биологии и медицины.

Элементарные диеты и две теории питания. Идея элементарного питания, возникшая в конце XIX — в начале XX вв. и вытекающая из ТСП, сводилась к необходимости заменить потребляемую пищу легкоусвояемыми мономерами, имитирующими смесь всасываемых продуктов питания — белков, углеводов, жиров и др. Предполагалось, что человеку в зависимости от возраста, функционального состояния, вида деятельности можно вводить различные аминокислоты и другие компоненты рациона, а при заболеваниях — компенсировать недостаток таких веществ. В 60—70-х годах было предложено несколько элементарных диет, появилась надежда, что они окажутся основными при космических полетах.

Однако, с позиций ТАП, элементарные диеты дефектны прежде всего потому, что нарушают свойства и соотношения полезного и токсического потоков, поскольку из общего процесса питания выпадает мембранное пищеварение с его защитными функциями и исключается деятельность микрофлоры кишечника. В организме животных с однокамерным желудком (в том числе человека) бактерии питаются преимущественно не утилизируемыми или медленно утилизируемыми макроорганизмом компонентами пищи. Мембранное пищеварение, которое осуществляется ферментами, локализованными в недоступной бактериям зоне щеточной каймы, предотвращает поглощение ими пищевых веществ и обеспечивает стерильность этого процесса. Если же пища вводится в организм в виде мономеров, мембранное пищеварение как защитный механизм не функционирует и за счет избытка легкоусвояемых элементов в полости тонкой кишки бактерии оказываются в чрезвычайно благоприятных условиях для размножения. Это приводит к нарушению взаимоотношений макроорганизма с микрофлорой, к увеличению потока токсических веществ, к потере макроорганизмом веществ, в том числе необходимых. При мономерном питании нами, а затем и мно-

гими другими исследователями, зарегистрированы дисбактериозы и дополнительное дезаминирование аминокислот.

Далее, из-за высокой осмотической активности элементарных диет нарушается распределение жидкости между кровью и кишечной средой: жидкость переходит из крови в кишечник. Наконец, элементарные диеты приводят к резкому снижению функциональной нагрузки на ферментные системы желудочно-кишечного тракта, что сопровождается нарушением синтеза ряда необходимых ферментов.

Однако при некоторых заболеваниях и в определенных условиях элементарные и безбалластные диеты могут быть весьма полезными. В частности, при поврежденных и приобретенных дефектах ферментных систем тонкой кишки наиболее целесообразно исключить из пищи соединения, например лактозу, сахарозу и др., гидролиз которых нарушен. Элементарные диеты можно использовать при различных экстремальных воздействиях, нарушающих деятельность желудочно-кишечного тракта. Как правило, стресс сопровождается снижением концентрации азотистых соединений. Мы получили результаты, которые расширили классические представления о том, за счет чего это снижение происходит. Мы обнаружили, что при стрессе тормозится включение ряда пищеварительных ферментов (которые осуществляют мембранное расщепление углеводов и особенно белков) в состав апикальной мембраны кишечных клеток. Таким образом, при стрессе азотистые вещества не только подвергаются прямому разрушению, но и их поступление во внутреннюю среду организма бывает недостаточным. Следовательно, при различных видах стресса существует эффективный путь коррекции белкового обмена за счет введения в рацион вместо неусваивающихся белков имитирующих их аминокислотных смесей. Такие смеси целесообразно использовать также в аварийных ситуациях, при хирургических вмешательствах (в пред- и послеоперационный периоды), при травмах, в условиях недостатка белков и т. д.

Прямое парентеральное питание. Принимая во внимание деятельность микрофлоры желудочно-кишечного тракта, идея о таком питании представляется крайне уязвимой. Существуют и другие причины, по которым невозможно рассматривать парентеральное питание как физиологическое. Желудочно-кишечный тракт выполняет важную функцию не только превра-

щения пищевых веществ в усвояемые организмом формы, но и депонирования пищи. Введение питательных веществ в кровь должно, по-видимому, приводить к нарушению функций депонирующих систем и механизмов (нервных и гормональных), которые их контролируют. Далеко не безобидно прямое введение в кровь глюкозы в количествах, удовлетворяющих пищевые потребности организма: оно вызывает резкое нарушение гомеостаза, что служит причиной развития многих форм патологии, и в частности диабета.

Вместе с тем при различных заболеваниях и экстренной хирургии глюкозу по каплям вводят в вену больного. Однако лучше глюкозу заменить мальтозой (дисахаридом, состоящим из двух остатков глюкозы), которую будут расщеплять ферменты, связанные с мембранами клеток печени, почек, капилляров и т. д. Образующаяся глюкоза хорошо утилизируется, по-видимому, в тех участках, где она освобождается при гидролизе мальтозы. В результате достигается снабжение организма глюкозой без перенапряжения эндокринного аппарата поджелудочной железы, без изменения уровня концентрации глюкозы в крови и тяжелого дисбаланса.

Защитные системы желудочно-кишечного тракта. ТАП придает большое значение системам защиты организма от проникновения различных вредных веществ, поступление которых в желудочно-кишечный тракт следует рассматривать как аллергическую агрессию. Существуют несколько механизмов, предупреждающих поступление токсических веществ и антигенов из кишечной среды во внутреннюю. Один из них связан с гликокаликсом. Его тончайшие нити служат преградой для многих крупных молекул за исключением тех, которые гидролизуются ферментами самого гликокаликса (в частности, адсорбированными в нем панкреатическими амилазой, липазой, протеазами). Следовательно, нерасщепленные молекулы, способные вызвать аллергическую реакцию, не контактируют с клеточной мембраной, а молекулы, подвергшиеся гидролизу, утрачивают антигенные и токсические свойства. Другой механизм связан с апикальной поверхностью плазматической мембраны кишечных клеток, на которой олигомеры расщепляются до мономеров. Таким образом, ферментные системы гликокаликса и липопротеиновой мембраны служат барьером, предупреждающим поступление и контакт

крупных молекул с мембраной. Существенную роль могут играть внутриклеточные пептидазы, которые мы рассматриваем как дополнительный барьер и как механизм защиты от физиологически активных пептидов.

В кишечнике имеется также компонент иммунной системы в виде пейеровых бляшек тонкой кишки (их около 200—300 у взрослого человека) и лимфоидной системы червеобразного отростка толстой кишки. Для понимания механизмов защиты важно, что в 1 мм³ кишечной слизи содержится более 400 тыс. плазматических клеток и около 1 млн лимфоцитов на 1 см². В норме в тощей кишке человека содержится от 6 до 40 лимфоцитов на 100 эпителиальных клеток. Это означает, что кроме эпителиального слоя, разделяющего кишечную и внутреннюю среду организма, существует еще мощный лейкоцитарный слой.

Следовательно, хотя слизистая пищеварительного тракта потенциально является областью, через которую антигены и токсические вещества могут проникать во внутреннюю среду организма, здесь же действует эффективная дублирующая система защиты, включающая пассивные (механические) и активные защитные факторы. Нужно добавить, что защитные свойства клеток печени, поглощающих токсические вещества, дополняются системой антитоксических реакций в эпителии тонкой кишки.

Идеальная пища и идеальное питание. Эта проблема — следствие ТСП. Идеальной считается пища, которая во временной динамике наиболее точно возмещает потери веществ и энергии по составу и количеству. Идеальное питание определяется этой же целью.

С позиций ТАП, идеальное питание с трудом поддается теоретическому определению, так как эффекты пищи и режимы питания разнообразны. Одни виды пищи улучшают самочувствие, другие — повышают работоспособность, третьи — позволяют скорее приспособиться к климатическим или, к необычным условиям жизнедеятельности, изменить эволюционно сформированные и другие реакции. Каждый положительный эффект может сопровождаться некоторыми отрицательными. Более того, так называемая идеальная пища, обеспечивающая равновесие притока и расхода веществ, в большинстве случаев не адекватна для человека и животных, так как приводит к бездействию депо и,

следовательно, способствует своеобразной метаболической гиподинамии. Действительно, уже в конце 50-х годов нам удалось показать, что переход от одного типа полноценной пищи к другому помимо адаптивных реакций вызывает увеличение активности ферментных систем пищеварительного тракта и повышение уровня концентрации некоторых ферментов крови⁴. Сходные явления мы наблюдали впоследствии при различных воздействиях на организм. Эти данные позволили предположить, что «метаболический комфорт» в результате идеального питания не является эволюционно подготовленной основой для оптимальной работы метаболических систем. Равенство расхода и поступления веществ в организм — правило, справедливое лишь для достаточно длительных интервалов времени. В пределах более коротких временных интервалов значительные расхождения между этими показателями не только физиологичны, но и необходимы для поддержания достаточно высокого уровня функциональной активности.

Рациональное питание. Оно определяется компромиссом между более или менее ограниченными (по количеству и качеству) пищевыми ресурсами и наиболее эффективным питанием. Практически питание человека и животных в естественных условиях обусловлено оптимальными нормами и реальными возможностями. Чаще всего в основе компромисса лежит нехватка ряда пищевых продуктов или их высокая стоимость. В первую очередь, это касается мяса и рыбы, а во многих случаях — молочных продуктов. Белковый рацион можно оптимизировать, сочетая белковую пищу с другими пищевыми продуктами, которые сберегают расход белка, а также обогащают его. Например, белок хлеба легко обогащается благодаря использованию цельнозернового хлеба. Возможны оптимальные сочетания пищевых продуктов применительно к конкретным условиям питания и дальнейшие поиски в этом направлении.

Питание в неидеальных условиях. Многие полезные пищевые продукты содержат токсические вещества, которые в ряде случаев разрушаются тепловой обработкой пищи. Однако определенный уровень токсических веществ — постоянный физиологический спутник жизни, и большинство их нейтрализуется защитными

⁴ Уголев А. М. Пищеварение и его приспособительная эволюция. М., 1961.

системами желудочно-кишечного тракта. В последнее время в связи с интенсификацией сельского хозяйства и урбанизацией населения количество непищевых добавок, подавляющее большинство которых не полностью индифферентно для организма, прогрессивно возрастает во всем мире. Применяемые дефолианты, инсектициды, гербициды, пестициды поступают во многие пищевые продукты. Хотя действие таких веществ направлено первоначально против растений-сорняков, насекомых, грибов, в силу универсальности функциональных блоков существует потенциальная опасность их воздействия на человека и высших животных (в некоторых случаях такой отрицательный эффект доказан). Точно так же не индифферентны добавки, обеспечивающие консервацию пищевых веществ. Кроме того, продукты питания загрязняются промышленными отходами, среди которых могут оказаться весьма токсичные. Этой крайне актуальной проблеме уделяется большое внимание.

В связи с вышеизложенным возникают вопросы: как оптимизировать питание, если пища загрязнена? Что лучше — адаптация к одному загрязнителю или чередование различных загрязнителей? Быть может, следует периодически менять консерванты или источники продуктов питания, использовать антидоты, которые можно вводить либо в загрязненные продукты, либо применять одновременно с пищей? Найти ответ на такие вопросы крайне необходимо в связи с тем, что питание в неидеальных условиях приобретает все большие масштабы.

Оптимизация питания и концепция физиологической культуры. Оптимальное питание — проблема, еще нуждающаяся в решении. Она представляется особенно важной, так как дефекты питания в глобальных масштабах характерны и для настоящего времени. С дефектами питания люди сталкиваются в различных аварийных и экстремальных ситуациях и, наконец, будут сталкиваться при создании искусственных биосфер и тропосфер в связи с исследованиями космоса и другими задачами. Поэтому важно понять, как добиться наиболее благоприятного результата при значительных дефектах питания. Возьмем крайний случай — отсутствие продуктов питания. Долгое время считалось, что в таких условиях лучше голодать, чем поедать непитательную пищу, например листья растений. С позиций ТСП это объясняется тем, что при питании листьями на работу пищеварительного аппарата затрачивает-

ся энергия, в которой организм и без того испытывает недостаток, а также размножается бактериальная флора. Однако нормальная деятельность желудочно-кишечного тракта необходима для поддержания основного обмена веществ в организме, для функционирования эндокринной системы кишечника и других систем организма, а также для того, чтобы не погибла кишечная флора. Сохранение симбиотических бактерий благодаря пищевым волокнам кажется более благоприятным для организма, чем абсолютное голодание. Такая точка зрения подтверждается хорошо известными примерами: некоторые хищные животные во время голода питаются листьями, травой, ягодами и другой растительной пищей, люди добавляют в пищу траву, древесные опилки, листья. Использование пищевых волокон — лишь пример оптимизации питания в неблагоприятных условиях.

Оптимизировать питание при нехватке пищевых ресурсов можно за счет нерафинированных продуктов — цельнозернового хлеба, неполированного риса и т. д. Стоит еще раз отметить, что нерафинированная пища и в большинстве других случаев имеет преимущества перед рафинированной.

Следует подчеркнуть, что оптимизация питания была важной и полезной частью национальных, племенных и религиозных традиций. Однако в научной литературе часто обращается внимание лишь на недостатки этих традиций, многие из которых теперь утрачены. А такая утрата создает вакуум, который нередко заполняется неправильными и неорганизованными действиями, опирающимися на многочисленные модные концепции питания, не имеющие теоретической базы и не подкрепленные практикой.

Оптимизация питания связана с решением нескольких проблем. Прежде всего, следует вести поиски новых, необходимых в сельском хозяйстве, малоустойчивых соединений, которые выполняли бы регуляторные функции, но не попадали бы в пищевые продукты; можно идти по другому пути: искать вещества с такой степенью избирательности действия, при которой они сами и их метаболиты были бы индифферентны для человека. Необходимо разрабатывать пищевые технологии, в том числе кулинарные, при которых в процессе приготовления пищи токсические вещества разрушались бы или превращались в безвредные. Необходимо также информация о наличии в продук-

тах токсических соединений, чтобы их можно было чередовать во избежание кумулятивных эффектов, неблагоприятных воздействий и т. д.

Чтобы сделать оптимальным питание ослабленных организмов, питание людей при больших физических и эмоциональных нагрузках, оптимизировать краткосрочные диеты, можно вводить в пищевые продукты пептиды. С их помощью улучшается аминокислотный состав пищи, так как по эффективности белковые гидролизаты не уступают ни аминокислотным смесям, ни природным белкам, но в то же время не заставляют бездействовать сложную систему пищеварения.

Понятие адекватности позволяет оптимизировать питание в соответствии с возрастом и характером труда, в связи с проблемой пищи будущего.

До последнего времени культура человеческого тела рассматривалась преимущественно как физическая. Однако она значительно сложнее и шире и включает в себя многие стороны, которые могут быть объединены понятием биологической культуры. В это понятие должны войти представления о физической, генетической, экологической и физиологической культурах, причем последняя должна включать биохимическую, климатическую и культуру питания.

Ясно, что физиологическая культура может быть построена лишь на основе достаточно глубокой теории, способной обосновать не только правильное потребление продуктов, но также их производство и переработку. С позиций физиологической культуры следует рассматривать ряд проблем, в том числе регуляцию аппетита. Вероятно, у человека частично нарушена та поразительная способность регулировать потребление пищи, которая свойственна животным. А эта способность — один из важных механизмов гомеостаза, обеспечивающего постоянство молекулярного состава организма. Вместе с тем этот механизм — один из наиболее уязвимых в силу многих обстоятельств, рассмотрение которых выходит за пределы данной статьи.

Управление аппетитом и питанием сформировалось в ходе эволюции, в его основе лежит определенная система сигналов. Отсутствие культуры питания приводит к многочисленным ошибкам в работе механизмов, регулирующих аппетит человека. Из этих ошибок наиболее распространенная — переедание одних типов пищевых продуктов и недоедание других.

Уже в рамках ТСП для преодоления этого коренного дефекта были сформулированы понятия идеальной пищи и идеального питания, а также предложены их модели. Однако с позиций ТАП пища не должна и не может быть идеальной. Более уместно представление об адекватной пище, которая широко варьирует в зависимости от внешних условий и внутреннего состояния организма.

Соотношение различных компонентов в пище и характер питания, которые должны обеспечивать эффективное функционирование депо и «упражнение» различных метаболических систем, необходимо рассматривать с точки зрения физиологической культуры, и в том числе культуры питания. Следует заметить, что некоторые «пищевые секты», использующие определенные типы и режимы питания, часто достигают существенных успехов, так как, воздействуя на те или иные формы обмена веществ, добиваются полезных эффектов. Однако в ряде случаев эффекты оказываются, к сожалению, кратковременными, иногда нежелательными. Именно поэтому физиологическая культура и ее составная часть — культура питания — должны развиваться под контролем специалистов и в строгом соответствии с реальными потребностями организма.

Без культуры питания крайне трудно решить такие вопросы, как проблему победы над голодом, над многими заболеваниями нашего века, включая сердечно-сосудистые заболевания и некоторые типы злокачественных новообразований, проблему борьбы с одряхлением организма.

НЕКОТОРЫЕ КОНКРЕТНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПИТАНИЯ

Рассмотрим, как с позиций ТСП и ТАП можно решить некоторые практические задачи. Одна из них связана с пищевой непереносимостью.

Непереносимость молока. Эта проблема — частный случай пищевой непереносимости. Этим недостатком страдают сотни миллионов людей: среди населения Европы и Америки их число составляет 6—12 %, а среди жителей Ближнего Востока достигает 70 %. Сходные данные получены в отношении арабов, киприотов, японцев, эскимосов Гренландии, индейцев Америки, африканцев и жителей Шри Ланки.

Вместе с тем не переносит молока лишь 5 % пигмеев Африки.

Установлено, что при переходе от молочного к смешанному питанию частичной или полностью подавляется работа гена, контролирующего синтез лактазы — фермента, который расщепляет лактозу, или молочный сахар. Предполагается, что степень подавления лактазного гена связана с историей этнической группы и, возможно, определяется тем, употреблялось ли молоко на заре становления данного народа. Чтобы понять, насколько обоснованно такое предположение, рассмотрим механизмы, которые обуславливают непереносимость молока.

Продукты частичного гидролиза пищевых биополимеров, а также небольшие молекулы, в частности лактоза и сахара, проникают через гликокаликс и достигают поверхности мембраны, где локализовано около 20 ферментов, осуществляющих заключительные стадии расщепления фактически всех пищевых веществ. Эти ферменты образуют сложные комплексы с транспортными системами, благодаря чему в них немедленно поступают образовавшиеся продукты гидролиза — мономеры, которые активно переносятся этими транспортными системами. При недостаточности фермента лактазы гидролиз молочного сахара нарушается, что приводит к непереносимости молока.

Зона мембранного пищеварения стерильна, в ней нет бактерий, которые могли бы конкурировать с макроорганизмом за пищевые вещества. У большинства организмов бактерии используют преимущественно остаточные пищевые продукты. В том случае, когда отсутствует какой-либо фермент, его субстрат быстро поступает в полость тонкой кишки и становится добычей микрофлоры. Возникающие из таких субстратов продукты их переработки бактериями в одних случаях вызывают диарею, в других — отравление, шок и иногда смерть. Тяжелые заболевания, в том числе со смертельным исходом, описаны у взрослых людей даже после нескольких глотков молока.

При старении организма, как правило, непереносимость молока и ряда других продуктов возрастает, так как с возрастом не только снижается количество синтезируемых ферментов, в том числе лактазы, но и ослабляется функция печеночного барьера. Во многих случаях воздействие на печень и применение лекарственных препаратов приводит к восстановлению пищевой переносимости. Напри-

мер, если подавлять бактериальную флору антибиотиками, можно предотвратить непереносимость молока. Интересно, что люди с одинаковым уровнем лактазной недостаточности могут переносить молоко, а могут и не переносить его. Это определяется различиями бактериальной флоры (у одних лиц она не вырабатывает токсические метаболиты, у других продуцирует их в большом количестве) и состоянием барьерных функций печени.

В последние годы делаются попытки создать молоко, которое могли бы употреблять непереносящие его люди. Для этого есть два пути: гидролизовать лактозу до употребления молока; добавлять в молоко лактазу, которая будет гидролизовать молочный сахар. При лактазной недостаточности употребляется молоко с расщепленной лактозой, а также молочные продукты с низким содержанием этого дисахарида — сыр, кефир, кислое молоко и т. д. Как показали эксперименты, низколактазное коровье молоко, полученное после его инкубации с дрожжевой лактазой, не вызывает заметных нарушений у взрослых лиц, страдающих непереносимостью молока. В то же время не модифицированное молоко провоцирует все симптомы, характерные для этого заболевания.

Питание новорожденных. Попытаемся проиллюстрировать ошибки, которые продолжает делать человечество при кормлении новорожденных. У высших организмов, в том числе у человека, пища переваривается благодаря полостному и мембранному пищеварению. Однако у новорожденных полостное пищеварение развито слабо, в первые дни после рождения первостепенную роль играет внутриклеточное пищеварение эндоцитозного типа, а затем доминирует мембранное. По видимому, его механизмы к концу эмбрионального периода уже сформированы, а полостное пищеварение развивается при переходе от молочного питания к смешанному. При этом изменяется ферментный спектр мембраны кишечных клеток и подавляется синтез лактазы.

В настоящее время женское молоко часто заменяют коровьим, однако появляются тревожные сигналы, что такая замена неадекватна. С позиции ТАП в первые месяцы жизни ребенка такая замена неудовлетворительна, а в первые дни крайне опасна, поскольку сразу после рождения преобладает эндоцитоз — поглощение кишечными клетками макромолекул и доставка их во внутреннюю среду орга-

низма. Эндоцитоз обеспечивает множество разнообразных эффектов, в том числе поступление иммуноглобулинов из организма матери в организм ребенка. Однако, если материнское молоко заменить молоком млекопитающих любого вида, с помощью эндоцитоза в организм новорожденного будут поступать антигены (огромное количество чужеродных белков), так как в раннем возрасте иммунного барьера в желудочно-кишечном тракте еще не существует. Организм ребенка отвечает аллергической реакцией. Именно в первые дни жизни проявляется картина, свидетельствующая о резком различии материнского и коровьего молока.

Содержание лактозы в материнском молоке значительно выше, чем в коровьем. При нормальном вскармливании ребенка часть лактозы достигает толстой кишки, обеспечивая благоприятную (слегка кислую) среду для развития молочнокислых и других полезных бактерий. В коровьем молоке лактозы мало, поэтому она не достигает толстой кишки и в ее полости вместо молочнокислого брожения идут гнилостные процессы, которые приводят к постоянной интоксикации организма ребенка. Формирование токсических продуктов на фоне слабости кишечного и печеночного барьеров приводит к нарушениям как физического, так и интеллектуального развития ребенка, которые сказываются не только в детстве, но и в более поздние периоды жизни.

В последние годы сделаны удачные попытки оптимизировать молочные смеси путем добавления лактозы, с тем чтобы восстановить молочнокислое брожение и подавить гнилостное.

*

Подведем итоги. Открытие общих закономерностей ассимиляции пищи, одинаково справедливых для всех живых существ, способствовало формированию новой эволюционно аргументированной теории адекватного питания. Эта теория пригодна для анализа ассимиляторных процессов у человека и других биотрофных организмов, она же явилась важной предпосылкой для объединения многих звеньев биологических и медицинских наук, посвященных изучению механизмов ассимиляции пищи в биологических системах разной степени сложности (от клетки и организма до экосистемы и биосферы), в одну междисциплинарную науку — трофологию⁹.

Такое объединение необходимо биологу, чтобы понять фундаментальное единство природы и процессов взаимодействий в биосфере на основе трофических связей, т. е. чтобы рассматривать биосферу как трофосферу. Но не в меньшей, а, может быть, в большей мере формирование трофологии необходимо для различных медицинских наук, так как трофика тканей и ее нарушения, различные проблемы гастроэнтерологии, теоретические и прикладные аспекты науки о питании — это в действительности нерационально разделенные части одной общей проблемы — проблемы ассимиляции пищевых веществ организмами, стоящими на разных уровнях эволюционной лестницы. Эту проблему необходимо рассматривать с некоторых унитарных позиций на основе более обширных и глубоких, чем ранее, взглядов. Такие взгляды должны опираться на общебиологические и эволюционные закономерности, на огромный клинический опыт, а также на достижения ряда наук, особенно физики и химии.

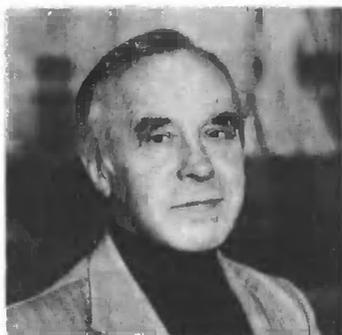
⁹ Подробно концепция трофологии изложена: Уголев А. М. Трофология — новая междисциплинарная наука // Природа. 1987. № 2. С. 3—15.

Что же такое ДУША?

П.В.Симонов, П.М.Ершов

ОТВЕРГНУВ религиозно-мистические представления о душе, о ее божественном происхождении и загробном существовании, мы в своей повседневной жизни не можем обойтись без употребления таких понятий, как «душа» и «духовность». Нас окружают люди душевные и равнодушные, мы ценим богатый духовный мир и обеспокоены бездуховностью некоторых людей, мы восхищаемся великодушием и с сожалением смотрим на малодушие.

В своей статье «Социализм и культура» историк М. П. Ким многократно упоминает о «духовном факторе созидания», «духовном богатстве», «духовной культуре», «духовной жизни», «духовном развитии», «духовном росте», «духовном освоении реального мира»¹. Среди многообразных видов человеческой деятельности философ В. Г. Афанасьев, следуя К. Марксу, выделяет три группы: материальную (производственную), социально-политическую и



Павел Васильевич Симонов, член-корреспондент АН СССР, директор Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии АН СССР. Окончил лечебный факультет Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова в 1951 г. Круг научных интересов связан главным образом с изучением психофизиологии потребностей и эмоций. Автор шести монографий, в том числе: Теория отражения и психофизиология эмоций. М., 1970; Высшая нервная деятельность человека: мотивационно-эмоциональные аспекты. М., 1975; Эмоциональный мозг. М., 1981. За первые две из названных монографий удостоен премии им. И. П. Павлова АН СССР (1979). В «Природе» опубликовал статью: Неосознаваемое психическое: подсознание и сверхсознание (1983, № 3).



Петр Михайлович Ершов, кандидат искусствоведения, режиссер и театральный педагог. Окончил Театрально-литературную мастерскую А. Д. Дикого (1935) и аспирантуру Государственного института театрального искусства им. А. В. Луначарского (1946). Автор книг: Технология актерского искусства. М., 1959; Режиссура как практическая психология. М., 1972; Темперамент. Характер. Личность (в соавторстве с П. В. Симоновым). М., 1984.

¹ Ким М. П. // Правда. 1985. 12 дек.

духовную². В воплощении, выражении жизни человеческого духа К. С. Станиславский видел главную задачу художественного творчества. Много лет назад философ А. Шопенгауер остроумно заметил, что отрицание души есть философия людей, которые забыли взять в расчет самих себя.

Несомненно, за понятиями «душа» и «дух» стоят реалии, мимо которых не может пройти диалектико-материалистическое мировоззрение. «Я не отрицаю психологии как познания внутреннего мира человека, — утверждал великий материалист И. П. Павлов. — Тем менее я склонен отрицать что-нибудь из глубочайших влечений человеческого духа»³. Так что же такое «душа» с точки зрения современной материалистической науки? Обратимся к энциклопедическим изданиям последних лет.

«МЫСЛЯЩЕЕ СЕРДЦЕ»?

«В диалектическом материализме слово «душа» употребляется только как синоним слова «психика» и... по содержанию обычно соответствует понятиям «психика», «внутренний мир», «переживание»⁴. «Душа — внутренний мир человека, его психика. В марксистской философии понятие духа употребляется обычно как синоним сознания»⁵. Будучи справедливыми в целом, такие определения требуют конкретизации и уточнения. Ведь «психика» — чрезвычайно широкое понятие, включающее в себя все формы отражательной деятельности: ощущения, восприятия, представления, мышление, эмоции, волю, разум, интеллект и т. д. Разве «бездушный» человек не мыслит? Разве вопиющая бездуховность морально опустошенного субъекта лишает его наслаждения от своих низменных удовольствий? Поставить знак равенства между психикой и душой в современном понимании слова «душа» не удается.

Не меньшие трудности возникают и с термином «сознание». Дело в том, что

сознание — это прежде всего знание, которое с помощью слов, математических символов, образов художественных произведений, образцов деятельности может быть передано другим людям, может стать их достоянием. Обладание большим запасом знаний особенно в какой-либо специальной области не обязательно связано с великодушием, духовным богатством. И наоборот, неграмотный, проживший всю жизнь в глухом «медвежьем углу» человек вдруг оказывается способен на необыкновенное величие духа. Образами таких людей наполнена классическая русская литература.

Разумеется, примитивность интересов, незнание богатств, накопленных человеческой культурой, интеллектуальная ограниченность несоединимы с формированием духовно богатой личности. И все же простое присвоение добытых другими знаний само по себе не ведет к вершинам духа. В понятиях «дух» и «душа» наряду со стремлением к истине, к познанию окружающего мира мы интуитивно ощущаем присутствие категории добра. К этой мысли многократно обращались выдающиеся умы человечества. Напомним лишь некоторые высказывания.

«Для чего мы образовываем сыновей, обучая их свободным искусствам? — спрашивал древнеримский философ Сенека и отвечал: Дело не в том, что они могут дать добродетель, а в том, что они подготавливают душу к ее восприятию»⁶. «Перед великим умом я склоняю голову, — признавался Гете, — перед великим сердцем — колени». «Разум чего-то стоит лишь на службе у любви», — уже в наше время утверждал Сент-Экзюпери. И еще резче, еще пронзительнее формулировал ту же мысль Достоевский: «И если страдания детей пошли на пополнение той суммы страданий, которая необходима была для покупки истины, то я утверждаю заранее, что вся истина не стоит такой цены»⁷.

Ни сумма знаний, которой располагает человек, ни его мышление, ни сознание не исчерпывают понятия о душе — «мыслящем сердце», как определил ее Гегель. Сам по себе ум не только не гарантирует высоких душевных качеств человека,

² Афанасьев В. Г. Человек в управлении обществом. М., 1977.

³ Павлов И. П. Двадцатилетний опыт объективного изучения высшей нервной деятельности (поведения животных). М., 1973. С. 88.

⁴ Философская энциклопедия. Т. 2. М., 1962. С. 90.

⁵ Большая Советская Энциклопедия. Изд. 3-е. Т. 8. М., 1972. С. 548.

⁶ Сенека Л. А. Нравственные письма к Луцилию. М., 1977. С. 190.

⁷ Достоевский Ф. М. Братья Карамазовы. Собр. соч. Т. 9. М., 1958. С. 307.

но зачастую услужливо предлагает сознанию весьма убедительное оправдание неблагоприятных поступков. Так, бросив товарища в беде, человек способен уверять других и, что особенно важно, искренне поверить сам в необходимость и целесообразность такого поступка, оправдывая его своей попыткой позвать на помощь, бессмысленностью собственной гибели в случае, если бы остался рядом с потерпевшим, необходимостью сохранить себя для важного дела и т. д.

ЭМОЦИИ И ПОТРЕБНОСТИ

Мы ни на шаг не приблизимся к конструктивному уяснению сущности души и духа, пытаясь просто-напросто заменить их понятиями «психика» и «сознание». Попробуем подойти к душе с другой, деятельной, побуждающей к поступкам стороны. Ведь каждый из нас способен не только болеть или радоваться душой, но и действовать, повинувшись душевному порыву, не по расчетам ума, а по зову сердца, вкладывая в дело всю душу. «Как можно познать себя? — размышлял Гете. — Только путем действия, но никогда путем созерцания. Попытайся выполнить свой долг, и ты узнаешь, что в тебе есть». Поскольку в основе любого действия, любого поступка лежит иницирующая его **потребность**, путь к уяснению сущности души как феномена внутреннего мира человека лежит через анализ сферы его потребностей, а наиболее тонким инструментом такого анализа служат человеческие **эмоции**.

Мы определяем эмоцию как отражение мозгом человека и высших животных какой-либо актуальной потребности (витальной, социальной, идеальной) и возможности ее удовлетворения, характеризующей вероятностью достижения цели⁸. Оценку вероятности субъект производит на основе врожденного и приобретенного индивидуального опыта, непроизвольно сопоставляя информацию о средствах, времени, ресурсах, необходимых для достижения цели (удовлетворения потребности), с информацией, поступившей в данный момент. Прогнозирование вероятности достижения цели у человека может осуществляться как на осознаваемом, так и на неосознаваемом уровне. Возрастание вероятности достижения цели в результате по-

ступления новой информации порождает положительные эмоции, которые человек стремится максимизировать с целью их усиления, продления, повторения. Падение вероятности по сравнению с ранее имевшимся прогнозом ведет к отрицательным эмоциям, которые субъект стремится минимизировать — ослабить, прервать, предотвратить. Таким образом, **эмоция в нейрофизиологическом смысле** есть активное состояние системы специализированных мозговых образований, побуждающее субъекта изменить поведение в направлении максимизации или минимизации этого состояния, что определяет регуляторные функции эмоций, их роль в организации целенаправленного поведения.

Впрочем, с такой концепцией генезиса эмоций согласны далеко не все авторы. «Если вероятность использовать в строго математическом смысле, — пишет психолог О. К. Тихомиров, — то об изменении вероятности достижения цели можно говорить лишь применительно к ситуациям, в которых одна и та же цель многократно достигается одним и тем же субъектом, т. е. применительно к задачам рутинного характера, в которых повторяется одно и то же действие. Однако огромное количество задач решается человеком только один раз, поэтому бессмысленно по отношению к ним говорить об изменении вероятности достижения цели»⁹.

Так же как и П. К. Анохин¹⁰, О. К. Тихомиров рассматривает только те эмоции, которые возникают у человека в процессе деятельности, а не до начала каких-либо действий. Мы не можем согласиться с его возражениями как минимум по двум причинам. Во-первых, человек способен прогнозировать вероятность достижения цели по аналогии с успехом или неуспехом тех действий, которые он ранее осуществлял в похожих ситуациях, но для достижения других целей. Во-вторых, он способен строить прогноз, опираясь на известный ему опыт других людей. Чем непривычнее предстоящее человеку действие, чем больше его новизна, тем больше шансов, что субъективно прогнозируемая вероятность достижения цели не совпадает с объективной возможностью ее достижения, с реальным успехом или неуспехом

⁹ Тихомиров О. К. // Вопр. философии. 1986. № 7. С. 46.

¹⁰ Анохин П. К. Эмоции // Большая Медицинская Энциклопедия. Изд. 2-е. Т. 36. М., 1964. С. 339.

⁸ Симонов П. В. Эмоциональный мозг. М., 1981.

предпринятых действий. Отсюда и возникает та особая эмоциональность новых задач, которую справедливо отмечает О. К. Тихомиров.

Зависимость силы эмоциональной реакции от величины потребности и вероятности ее удовлетворения была продемонстрирована одним из нас (П. В. Симонов) в психофизиологических экспериментах, где о силе эмоции судили по величине объективно регистрируемых электрофизиологических и вегетативных сдвигов (частота сердечбиений, колебание кожных потенциалов и т. д.), о потребности — по интенсивности неприятного электрокожного раздражения (у животных — по продолжительности лишения пищи), а о возможности удовлетворения — по суммарной величине допускаемых ошибок или по вероятности подкрепления условных сигналов. В 1984 г. два американских психолога Д. Прайс и Дж. Баррелл воспроизвели эти опыты в чисто психологическом варианте, предложив испытуемым отмечать на специальных шкалах силу своего желания, предполагаемую вероятность достижения цели и степень эмоционального переживания. Количественная обработка полученных данных подтвердила существование зависимости, которую авторы назвали «общим законом человеческих эмоций»¹¹.

Форма эксперимента, использованная Прайсом и Барреллом, позволяла субъективно ранжировать силу не только сравнительно простых, витальных потребностей (авторы называют их «желаниями»), но и весьма сложных, социально детерминированных мотиваций. Тем не менее анализ полученных результатов показал количественную зависимость возникающих при этом переживаний от оценки субъектом возможности удовлетворения своего желания. Иными словами, важнейшая роль «информационного компонента» была продемонстрирована и по отношению к эмоциям — интеллектуального, эстетического и нравственного порядка, что позволило авторам говорить именно об «общем законе эмоций». Этот «информационный компонент» лишь частично совпадает с содержанием того сообщения (в широком смысле), которое несет в себе произведение искусства, выступление политического деятеля, доклад ученого и т. п., поскольку речь идет об информации, извлекаемой

данным субъектом, обладающим данным запасом сведений и применительно к потребностям, актуализированным именно у этого субъекта. Вот почему одно и то же произведение, выступление, доклад могут вызвать весьма различные переживания у разных зрителей, слушателей, участников собрания.

Методы современной психофизиологии, достаточные для регистрации объективных проявлений сильных эмоциональных реакций, возникающих у человека в экстремальных ситуациях (например, в сложном авиационном полете, при парашютном прыжке, в случае патологии и т. д.), слишком грубы для анализа тех эмоций, которые связаны с удовлетворением высших социально детерминированных потребностей, будь то сфера межличностных отношений, восприятие произведений искусства или творческая деятельность. Вот почему на определенном этапе анализа потребностей и эмоций мы использовали в качестве модели актерское искусство, т. е. намеренное воспроизведение целенаправленного поведения человека, базирующееся на принципах системы К. С. Станиславского¹². За бесконечным многообразием человеческих эмоций взору наблюдателя, вооруженного потребностно-информационным методом их анализа, открывается почти не изученная область потребностей человека — первопричин и движущих сил человеческого поведения.

СТРУКТУРА БАЗИСНЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ

Исходными, самостоятельными по происхождению и базисными по своим характеристикам, являются следующие из них.

1. Витальные («биологические») потребности в пище, воде, сне, температурном комфорте, защите от внешней угрозы и т. д. призваны обеспечить индивидуальное и видовое существование человека. Они трансформируются во множество вторичных потребностей в одежде, жилище, технике, необходимой для производства материальных благ, в средствах защиты от вредных воздействий и т. п. К числу фундаментальных потребностей, име-

¹¹ Price D., Barrell J. // J. of Personality. 1984. Vol. 52. P. 389—409.

¹² Симонов П. В. Метод К. С. Станиславского и физиология эмоций. М., 1962; Ершов П. М. Режиссура как практическая психология. М., 1972.

ющих биологическую компоненту, относится и потребность в экономии сил, побуждающая человека искать наиболее короткий, легкий путь к достижению своих целей. Принцип экономии сил лежит в основе изобретательства, технического творчества и совершенствования навыков, но может приобрести и самодовлеющее значение, трансформировавшись в лень.

2. Социальные потребности в узком и собственном смысле слова (социально опосредованы все побуждения человека) включают потребность принадлежности к социальной группе (общности) и занимать в этой группе определенное место, пользоваться привязанностью и вниманием окружающих, быть объектом их уважения и любви. Многообразие социальных потребностей делится на две основные разновидности — на потребности «для себя», осознаваемые человеком как принадлежащие ему права, и «для других», осознаваемые как обязанности. Исторически детерминированное соотношение прав и обязанностей отражается в сознании как понятие о справедливости, весьма различное у представителей той или иной общественной группы.

Заметим, что потребности «для себя» не антагонистичны потребностям «для других» не только потому, что все они несут свою социально полезную функцию. Потребности «для себя» связаны с чувством собственного достоинства, независимостью суждений, самостоятельностью мысли. Потребности «для других» делают человека доброжелательным, способным к сочувствию, состраданию и сотрудничеству. Потребности «для себя» и «для других» образуют сложнейший диалектически противоречивый сплав. Если человек может любить только других, он вообще не способен любить (Э. Фромм), но, с другой стороны, человек ощущает смысл и цель собственной жизни, лишь когда сознает, что нужен другим (С. Цвейг). В последнем случае деятельность для других оборачивается деятельностью для себя. Не случайно самым счастливым считается тот, кто принес счастье наибольшему количеству людей.

Среди социальных потребностей мы хотим особо выделить потребность следовать нормам, принятым в данном обществе, без которой существование социальных систем оказалось бы вообще невозможным. Гегель рассматривал ее как потребность в религии, хотя правильнее было бы понимать ее более широко, как потребность в идеологии, нормирующей удовлетво-

ние всех других витальных, социальных и духовных потребностей человека¹³. Нормы формируются в результате сложнейшего взаимодействия исторических, экономических, национальных и других факторов, они получают отражение в общественном сознании, закрепляются господствующей идеологией, моралью и законодательством. Хорошо упроченные нормы становятся привычкой, «второй натурой».

3. Последнюю группу исходных потребностей составляют идеальные потребности познания окружающего мира и своего места в нем, познания смысла и назначения своего существования на земле (как путем усвоения уже имеющихся культурных ценностей, так и путем открытия совершенно нового, неизвестного предшествующим поколениям). Познавая действительность, человек стремится уяснить правила и закономерности, которым подчинен окружающий мир. Человек готов даже навязать миру мифическое, фантастическое объяснение, лишь бы избавиться от бремени незнания, непонимания, даже если это непонимание непосредственно не грозит ему ни голодом, ни опасностью для жизни. Так, постигая различные закономерности окружающего, человек кладет их в основу создаваемых им моделей мира, будь то научные теории, произведения искусства или мифы.

Витальные, социальные и идеальные (познавательные) потребности в свою очередь делятся в зависимости от их силы и величины на две разновидности: на потребности сохранения и развития (потребности «нужды» и «роста» по терминологии англоязычных авторов). Признак для различения двух разновидностей потребностей — их отношение к господствующей общественно-исторической норме удовлетворения. Потребности сохранения удовлетворяются в пределах норм; потребности развития превышают норму¹⁴. В сфере социальных потребностей потребность развития «для себя» проявляется в стремлении улучшить свое общественное положение. Потребность развития «для других» требует совершенствования самих норм, либо улучшения положения какой-либо социальной группы. В идеальных потребностях норма — это достигнутое к на-

¹³ Гегель Г. Эстетика. Т. 1. М., 1968.

¹⁴ Человек отличается «безграничностью своих потребностей и их способностью к расширению» (Архив К. Маркса и Ф. Энгельса. Т. II (VII). М., 1935. С. 235).

стоящему времени знание. Идеальная потребность сохранения удовлетворяется присвоением достигнутого, потребность развития побуждает стремиться к непознанному, ранее никому не известному.

Индивидуально неповторимая композиция и внутренняя иерархия основных (витальных, социальных, идеальных) потребностей конкретного человека определяет его личность. Личность может быть охарактеризована тем временем, в течение которого данная определенная потребность занимает доминирующее положение в иерархии мотивов, на какие потребности «работает» механизм интуиции (сверхсознания, по терминологии Станиславского). Одна или несколько главнейших, т. е. чаще и продолжительнее других доминирующих потребностей, характеризуя «сверхсверхзадачу жизни» данного человека, образуют подлинное ядро его личности.

СТРУКТУРА ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ

Наряду с тремя основными перечисленными выше группами потребностей существуют две вспомогательные: потребность в вооруженности, т. е. потребность в овладении знаниями, навыками, умениями, и потребность преодоления препятствий на пути к цели, обычно именуемая волей.

Для того чтобы удовлетворять свои многочисленные потребности, человек должен владеть соответствующими способами, средствами и методами предметно-практической деятельности. Овладение навыками во многом отчуждено от процесса удовлетворения основных (витальных, социальных, идеальных) потребностей и побуждается самостоятельной потребностью, которую иногда определяют как «мотивацию компетентности», как стремление к совершенствованию своих двигательных координаций, позднее трансформирующееся в стремление к мастерству, развитию способностей, накоплению знаний, возможности контролировать внешнюю среду.

Потребность в вооруженности удовлетворяется с участием механизмов сознания, подсознания и сверхсознания (творческой интуиции)¹⁵. К сфере сознания отно-

сятся те знания и практические навыки, которые могут быть переданы другому с помощью их описания каким-либо из языков, будь то речь, математические символы, рисунки, технические модели и т. п. К подсознанию относится все то, что было осознаваемым ранее или может стать осознаваемым в определенных условиях. Мы имеем в виду не только хорошо автоматизированные и потому переставшие осознаться навыки, но и глубоко усвоенные субъектом социальные нормы, регулирующая функция которых переживается как «голос совести», «зов сердца», «веление долга». Совесть занимает в поведении человека должное место лишь тогда, когда ее веления исполняются как императивы, не требующие логических аргументов. То же самое относится к воспитанности, к чувству ответственности, к точности выполнения взятых на себя обязательств, ставших чертами характера, а не прагматически выгодной формой поведения с целью награды или ухода от наказания.

Наряду с ранее осознававшимся опытом, наполняющим подсознание конкретным, внешним по своему происхождению содержанием, имеется и прямой путь воздействия на подсознание через подражательное поведение. Так, ребенок за счет имитации неосознанно фиксирует образцы поведения, находясь в своем ближайшем окружении, которые со временем становятся внутренними регуляторами его поступков. Подражательному поведению принадлежит решающая роль в овладении навыками, придающими деятельность человека — производственной, спортивной, художественной и т. п. — черты искусства. Речь идет о так называемом «личностном знании», которое не осознается ни обучающим, ни обучаемым и которое может быть передано исключительно невербальным образом¹⁶. Цель искусного действия достигается путем следования ряду неявных норм или правил. Наблюдая учителя и стремясь превзойти его, ученик подсознательно осваивает эти нормы, неизвестные самому учителю.

Сверхсознание в форме творческой интуиции обнаруживает себя на первоначальных этапах творчества, не контролируемых сознанием и волей. Нейрофизиологическую основу сверхсознания состав-

тельности человека см.: Симонов П. В. Неосознаваемое психическое: подсознание и сверхсознание // Природа. 1983. № 3. С. 24—31.

¹⁶ По л а н и М. Личностное значение. М., 1985.

¹⁵ Подробное описание различий между этими проявлениями высшей нервной (психической) де-

ляет трансформация и рекомбинация следов (энграмм), хранящихся в памяти субъекта. Деятельность сверхсознания всегда ориентирована на удовлетворение доминирующей витальной, социальной или идеальной потребности, конкретное содержание которой определяет характер формирующихся гипотез. Вторым направляющим фактором является жизненный опыт субъекта, зафиксированный в его подсознании и сознании. Именно сознанию принадлежит важнейшая функция отбора рождающихся гипотез: сначала путем их логического анализа, а позднее — с использованием такого критерия истинности, как практика.

Основной формой развития сверхсознания на ранних стадиях онтогенеза является игра, требующая фантазии, воображения, каждодневных творческих открытий в постижении ребенком окружающего его мира. Бескорыстные игры, ее относительная свобода от удовлетворения каких-либо потребностей прагматического или социально-престижного порядка способствует тому, чтобы потребность в вооруженности заняла доминирующее положение. В результате творческая интуиция начинает «работать» исключительно на эту потребность, обеспечивая развитие природных задатков и способностей ребенка, реальная необходимость в которых подчас появится только много лет спустя.

Как уже говорилось, потребность в преодолении препятствий на пути к удовлетворению какой-либо иной потребности, первично инициировавшей поведение (витальной, социальной, идеальной), называется волей. Заметим, что подавляющее большинство современных авторов рассматривает волю в качестве производной от сознания, будь то «сознательная саморегуляция субъектом своей деятельности и поведения», «основа самоконтроля», «способность сознания направлять поведение» и т. д., и т. п. Однако при этом исчезает энергизирующий фактор, сила, побуждающая человека совершать продиктованные волей действия. Нельзя считать волей и наиболее сильную доминирующую потребность, потому что побуждению, пересиливающему все прочие, никакая воля не нужна. «На том стою и не могу иначе» — в ситуации, описанной Лютером, воле не находится места.

На то, что воля является самостоятельной специфической потребностью, указывает существование эмоций, связанных с преодолением или непреодолением преграды до того, как будет достигнута

конечная цель¹⁷. Филогенетическим предшественником воли служит рефлекс свободы, открытый И. П. Павловым у высших животных и позднее описанный этологами как «мотивация сопротивления принуждению». Для человека преградой на пути к цели может стать и конкурирующая потребность. Тогда доминирование одного из конкурирующих мотивов будет определяться не только его силой, но и возникновением активности, по отношению к которой субдоминантный мотив есть препятствие, внутренняя помеха.

Активность, вызванная преградой, в определенных случаях и у определенного типа людей может оттеснить первоначальное побуждение на второй план, и тогда мы встретимся с упрямством, с поведением, где преодоление стало самоцелью, а исходный мотив утратил свое значение и даже забыт.

Индивидуальная выраженность и композиция вспомогательных потребностей преодоления и вооруженности определяют характер человека. Потребность преодоления лежит в основе волевых качеств субъекта, а степень удовлетворения потребности в вооруженности придает ему черты уверенности, решительности, устойчивости в экстремально складывающихся ситуациях. Высокий уровень вооруженности, осознаваемый или неосознанно ощущаемый субъектом, делает его спокойным, независимым, сохраняющим самообладание в сложной и быстро меняющейся обстановке. Недостаточная вооруженность в зависимости от доминирования тех или иных основных потребностей сообщает характеру черты тревожности, озабоченности своим положением среди людей, зависимости от их покровительства. Склонность к подражанию определяет меры самостоятельности совершаемых человеком поступков, а потребность в экономии сил делает характер энергичным или медлительным, ленивым.

Таким образом, анализ потребностей человека, выделение среди них класса основных и вспомогательных потребностей позволяет существенно по-новому подойти к определению понятий «личность» и «характер», показать, в чем суть различий между этими понятиями, наметить пути эффективного диагностирования этих качеств индивидуума.

¹⁷ Симонов П. В. Высшая нервная деятельность человека: мотивационно-эмоциональные аспекты. М., 1975.

ТАК ЧТО ЖЕ ТАКОЕ ДУША?

Теперь после сжатого изложения основных моментов потребностно-информационного подхода к анализу психики и поведения вернемся к понятиям «душа» и «духовность» как реалиям внутреннего мира человека. Может сложиться впечатление, что в современном словоупотреблении понятие «душа человека» совпадает с понятием «личность». Выше мы определили личность как индивидуально неповторимую композицию и иерархию всех основных потребностей человека. Однако витальные («биологические») и многочисленные вторичные потребности в пище, одежде, жилище, в средствах их производства и т. п., безусловно, отличны от духовных потребностей. Более того, не все социальные потребности человека ассоциируются с его душой.

По-видимому, речь может идти только о таких качествах личности, которые представляют неоспоримую социальную ценность, ибо само существование категорий души и духа на протяжении почти всей истории человеческой цивилизации (при исторической изменчивости конкретного содержания этих категорий) указывает на фундаментальное, непреходящее значение этих ценностей.

Во-первых, это та разновидность социальных потребностей человека, которую мы обозначили как потребность «для других» и которая подчас побуждает субъекта действовать вопреки и в ущерб своим личным интересам, продиктованным собственными витальными, материальными и социально-престижными потребностями.

Если способность к обобществлению добытых знаний (со-знание) служит одним из условий научного освоения мира, то без способности к сопереживанию невозможно представить себе искусство. «Когда человек думает только о себе,— писал К. М. Симонов,— о собственном благе, о собственном кармане, о собственных удобствах, о собственном спокойствии, он может говорить об этом любыми самыми красивыми словами, но истинной поэзии в этих заботах о самом себе нет места. Истинная поэзия появляется в мыслях, в словах и делах человеческих тогда, когда человек принимает в свою душу и берет на свои плечи заботу о других людях, об их счастье и об их благополучии»¹⁸.

Вторым качеством, ассоциирующимся с понятием духовности, с богатством и величием духовного мира личности, является потребность познания, точнее, та ее разновидность, которая связана с развитием, не довольствующимся простым присвоением имеющихся знаний, не ограничивающим себя рамками ныне существующих норм, но стремящимся раздвинуть эти нормы, освоить новые сферы действительности.

В силу какой-то еще не вполне ясной для нас закономерности эти два мотива, две тенденции — стремление к истине (потребность познания) и стремление к добру (потребность «для других») — постоянно оказываются рядом. «Жизнь для меня определяется любовью к людям и свободным исканием истины» — утверждал В. И. Вернадский¹⁹. «Три страсти, простые, но необычайно сильные, управляли моей жизнью: жажда любви, поиски знания и нестерпимая жалость к страданиям человечества», — в этом признании Б. Рассела также проступают уже знакомые нам мотивы истины и добра. Обе тенденции объединил в единую стройную систему великий исследователь «жизни человеческого духа» Л. Н. Толстой. «Самый лучший человек тот, — считал Толстой, — кто живет преимущественно своими мыслями и чужими чувствами, самый худший сорт человека — который живет чужими мыслями и своими чувствами... Из различных сочетаний этих четырех основ, мотивов деятельности — все различие людей»²⁰. Если перевести эту классификацию на язык потребностей, наиболее совершенным окажется человек с преобладанием тенденции «для других» в сфере социальных потребностей в сочетании с потребностью познания, свободной от побочных влияний. Самый несовершенный — эгоистически ориентирован на себя, а свои суждения подчиняет не объективной истине, но заимствованным и выгодным для него взглядам.

Для духовной деятельности человека характерно ее бескорыстие, причем бескорыстие двоякого рода. Деятельность «для других» осуществляется без расчета на немедленное социальное вознаграждение, а познание не преследует конкретных прагматических целей.

Мы прекрасно понимаем, что без

¹⁹ Цит. по.: Баландин Р. Вернадский: жизнь, мысль, бессмертие. М., 1979. С. 7.

²⁰ Цит. по.: Маркуша А. // Наука и жизнь. 1979. № 3. С. 66.

объединения усилий, без сотрудничества и взаимопомощи существование общества невозможно. Точно так же результаты познания окружающего мира обеспечивают совершенствование технологии, средств и способов производства материальных благ, необходимых для удовлетворения витальных и социальных потребностей. Но объективная польза духовной деятельности человека диалектически сочетается с ее субъективным бескорыстием. Именно это «освобождение» познавательной и социально-альтруистической деятельности от сиюминутной конкретизации ее целей, от вопроса «зачем?» создает возможность развития цивилизации, открытия новых явлений (которые позднее будут поставлены на службу практике), формулировке новых норм общественной жизни, соответствующих изменившимся условиям существования.

ПОЗНАНИЕ ПЛЮС АЛЬТРУИЗМ

Итак, потребностно-информационный подход приводит нас к гипотезе о том, что с материалистической точки зрения понятия «душа» и «духовность» человека обозначают индивидуальную выраженность в структуре личности двух фундаментальных потребностей: идеальной потребности познания и социальной потребности «для других». Под духовностью преимущественно подразумевается первая из этих потребностей, под душевностью — преимущественно вторая.

В самом деле, каждый раз, когда мы говорим о душевности, равнодушии, бездушии и т. п., мы подразумеваем отношение человека к окружающим его людям, т. е. заботу, внимание, любовь, привязанность, готовность прийти на помощь, подставить плечо, разделить радость и горе. Это отношение вторично распространяется и на дело, выполняемое внимательно, заинтересованно, с любовью, т. е. «с душой». Поскольку потребности «для себя» и «для других» присущи любому из нас, их соотношение получило отражение в представлениях о «размерах души». Проявить малодушие — значит отказаться от достижения важной, но удаленной и трудно достижимой цели в пользу потребностей сохранения своего личного благополучия, социального статуса, общепринятых норм. Заметим, что мы не назовем малодушием отказ от достижения той же цели, если он продиктован заботой не о себе, а о других. Руководителя группы

путешественников, отказавшегося рисковать жизнью своих товарищей, мы готовы упрекнуть в чрезмерной осторожности, в нерешительности, но... в малодушии — вряд ли.

Великодушие — это всегда примат высших идеальных или социальных потребностей, примат истины и добра над заботой о себе, о том, как я выгляжу в глазах других в соответствии с принятой в моем окружении нормой. Великодушие — всегда поступок в пользу другого (или других), отказ от обычной, близлежащей нормы поведения в пользу нормы более высокого порядка, способствующей совершенствованию и развитию человеческих отношений.

С категорией духовности соотносится потребность познания — мира, себя, смысла и назначения своей жизни. «Не зная, для чего ему жить, человек скорее истребит себя, даже если кругом его все будет хлебы... ибо тайна человеческого бытия не в том, чтобы только жить, а в том, для чего жить», — пишет Достоевский в «Братьях Карамазовых». Великие и вечные вопросы о сущем и должном, об истине и правде ставит действительность перед человеческим умом. Человек духовен в той мере, в какой он задумывается над этими вопросами и стремится получить на них ответ.

Может показаться, что сводя понятия духа и души к познанию и альтруизму, мы обедняем поистине безграничный внутренний мир человека. Но это не так. Ведь потребность познания и потребность «для других» существуют и непрерывно взаимодействуют со всеми остальными потребностями данной личности, с ее сознанием, подсознанием и сверхсознанием. В результате этого взаимодействия возникает бесконечное множество оттенков, граней, аспектов духовной жизни. Так, доминирование социальной потребности в утверждении норм трансформирует потребность познания и поиски все новых и новых подтверждений справедливости и неизбежности однажды сложившихся постулатов. Трудно отказать в духовности и проповеднику, догматически преданному символам своей веры, если, разумеется, его проповедь не преследует чисто социальных целей, а его преданность вере не стала средством личного преуспевания.

Сказанное в полной мере относится и к тому, что можно было бы назвать интеллектуальной, познавательной ипостасью души, отнюдь не сводимой к ее потребностно-мотивационной и аффектив-

ной основе. Ведь побуждения человека получают отражение в его рефлексирующем сознании, хотя это отражение тысячелетиями имело форму мифологических представлений о духовном мире человека, о его бессмертной душе. Трудный путь самопознания, запечатленный в этих представлениях,— специальная тема научного человековедения. Вместе с тем именно неосознаваемость всей сложности сил, движущих человеком, сыграла решающую роль в возникновении представлений о душе и духе как категориях, отличных от тела и противопоставляемых его нуждам. На это обстоятельство со всей определенностью указал Ф. Энгельс: «Люди привыкли объяснять свои действия из своего мышления, вместо того, чтобы объяснять их из своих потребностей (которые при этом, конечно, отражаются в голове, осознаются), и этим путем с течением времени возникло то идеалистическое мировоззрение, которое овладело умами, в особенности со времени гибели античного мира»²¹.

Потребностно-информационный подход к духовному миру человека, обнаружение в основе представлений о душе

и духовности потребностей познания и альтруизма создают возможность материалистического понимания тех явлений высшей нервной (психической) деятельности, которые длительное время находились за пределами естественнонаучного анализа, и тем актуальнее попытка обнаружить за покровом тысячелетиями складывающихся представлений их рациональное ядро, реальность, побуждающую нас заботиться о формировании духовно богатой и душевно щедрой личности.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Кон И. С. ОТКРЫТИЕ «Я». М.: Политиздат, 1978.

Кликс Ф. ПРОБУЖДАЮЩЕЕСЯ МЫШЛЕНИЕ. Киев: Вища школа, 1985.

Хекхаузен Х. МОТИВАЦИЯ И ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ. Т.1 — 2. М.: Педагогика, 1986.

Печчен А. ЧЕЛОВЕЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА. М.: Прогресс, 1985.

Платонов К. К. СТРУКТУРА И РАЗВИТИЕ ЛИЧНОСТИ. М.: Наука, 1986.

Симонов П. В., Ершов П. М. ТЕМПЕРАМЕНТ. ХАРАКТЕР. ЛИЧНОСТЬ. М.: Наука, 1984.

²¹ Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Т. 20. С. 493.

НОВЫЕ КНИГИ

Психофизиология

И. М. Фейгенберг. ВИДЕТЬ — ПРЕДВИДЕТЬ — ДЕЙСТВОВАТЬ. Психологические этюды. С предисл. А. В. Петровского. М.: Знание, 1986. 160 с. Ц. 30 к.

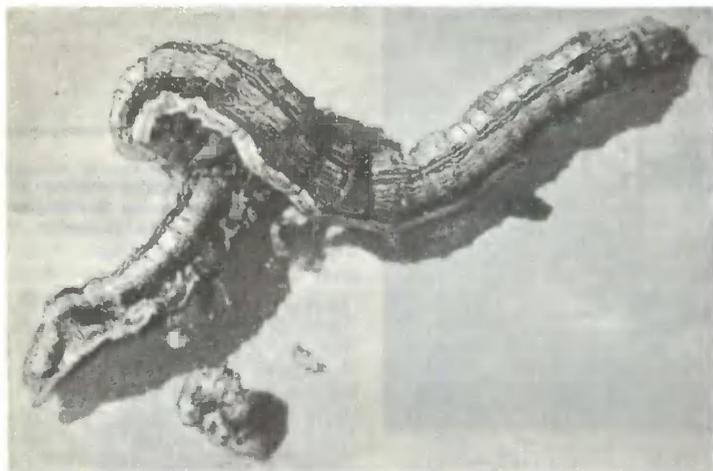
К числу многих достоинств этой научно-популярной книги следует отнести то, что ее читатель получает сведения «из первых рук». «Профессор И. М. Фейгенберг,— говорится в предисловии,— возглавляет одно из весьма перспективных направлений, возникших на стыке психологии и физиологии,— теорию вероятностного прогнозирования». Книга знакомит с экспериментальными и теорети-

ческими данными, относящимися к этой области исследований. Эти данные поясняются с помощью примеров, взятых из обыденной жизни и литературы.

Ребенок, играющий в мяч, протягивает руки не к мячу, а в то место, где мяч окажется через мгновение. Человеку, поднимающему два предмета равного веса, но различного объема, менее объемный предмет кажется тяжелее. Эти и многие другие приведенные в книге ситуации демонстрируют вероятностное прогнозирование в действии. Автор убедительно показывает, что такая бы то ни было деятельность человека невозможна без вероятностного прогнозирования, которое стро-

ится на основе прошлого индивидуального опыта и информации о сиюминутной ситуации. Не являясь абсолютно достоверным, такой «прогноз» лишь информирует мозг, с какой степенью вероятности может произойти то или иное событие.

Теория вероятностного прогнозирования представлена в контексте обсуждения важнейших психологических проблем. Автор касается современного понимания ощущения и восприятия, знания и научения, памяти, эмоций и деятельности. Особенно интересны разделы, посвященные принципу дополнительности в психологии и физиологическим механизмам смеха и улыбки.



КАННИБАЛИЗМ У НАСЕКОМЫХ

В. М. Карцев,
кандидат биологических наук

П. М. Филимонов

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

КАКОЙ бы вид животных мы ни рассматривали, его существование и воспроизводство связано со взаимодействием отдельных особей. В одних случаях эти взаимодействия ритуализованы и столкновения не приносят непосредственного вреда ни одному из партнеров, в других — внутривидовая борьба принимает более острые формы и часть популяции закономерно гибнет. У многих высших позвоночных (колониальных беличьих, пеликанов, изредка у сурков, гиеновидных собак, шимпанзе) взрослые животные нередко поедают чужих детенышей. В нескольких семействах птиц нормой является каннибализм — братоубийство

птенцов в выводке, причем у мясоядных видов каннибализм сопровождается каннибализмом¹. Но между взрослыми животными, насколько нам известно, всегда действуют специальные механизмы поведения, препятствующие тому, чтобы особь своего вида расценивалась как добыча.

Вполне вероятно, что похожие ограничительные механизмы существуют и у членистоногих, однако изучены они несравненно хуже, чем у позвоночных. Между тем есть осно-

ванья полагать, что поедание себе подобных играет важную роль в популяционной организации многих представителей данного типа. Предпосылками к этому служат, во-первых, распространенный способ опознавания добычи хищниками, которые нападают на любой подвижный предмет подходящих размеров; во-вторых, прохождение членистоногими нескольких фаз развития, несхожих с имаго (взрослой особью) и нередко легко уязвимых; в-третьих, большая плодовитость и ограниченная забота о потомстве.

Очень часто у насекомых особи, достигшие старшего возраста, поедают более молодых. Личинки колорадского жука, например, выводятся из одной кладки асинхронно. Каждая из отрождающихся личинок съедает несколько яиц и только потом приступает к питанию листьями картофеля. Скорость развития личинки зависит от числа съеденных ею яиц, поэтому особи, появляющиеся последними, растут очень плохо². У общественных насекомых каннибализм тоже возведен в ранг закономерного явления. Так, у обитающих в тропиках безжалых пчел (получивших свое название за то, что неспособны проколоть жалом кожу человека) рабочие особи откладывают яйца, но их обязательно поедает матка. Более того, у некоторых видов эти яй-

ц

¹ См.: Панов Е. Н. Поведение животных и этологическая структура популяций. М., 1983.

² Кохманюк Ф. С. Каннибализм, его экологическая и эволюционная роль // Поведение животных в сообществах. Материалы III Всесоюзной конференции по поведению животных. Т. 2. М., 1983. С. 72—73.



ца видоизменены и заведомо непригодны к развитию, но, очевидно, полезны для колонии в целом как питание для матки³. За счет собственных личинок восполняют потребности в белке и осы-полисты⁴. Однако поведение друг друга свободно живущими особями равного размера несвойственно и насекомым.

С уверенностью мы можем привести только один пример, когда насекомые нападают на своих взрослых собратьев при избытке другого корма и в достаточном запасе жизненного пространства. Интересно, что речь идет о растительноядном насекомом — гусеницах хлопковой совки (*Helicoverpa armigera*), кстати сказать, опаснейшем многоядном вредителе. Бабочка хлопковой совки откладывает более тысячи яиц, и плотность популяции гусениц бывает довольно велика. Возможно, биологический смысл каннибализма в данном случае состоит в том, что среди заведомо избыточного потомства отбираются наиболее сильные и быстро растущие особи, а плотность популяции не достигает критического уровня. Кроме того, для вида в целом каннибализм выгоден тем, что

обеспечивает выжившую часть популяции белком, которого гусеницам явно не хватает: при случае они охотно поедают других насекомых и обязательно съедают сброшенную при очередной линьке шкурку. Поскольку бабочки откладывают яйца небольшими группами и велика вероятность, что вышедшие из рядом отложенных яиц гусеницы окажутся сестрами (братьями), можно предположить, что, повышая ценой собственной жизни плодовитость кровного родственника, особь таким об-

Гусеница хлопковой совки, поедая другую, обнаружила в жертве личинку паразитического перепончатокрылого (которого каннибал не тронул).

разом обеспечивает передачу потомству и собственных генов (общих с родственником). Особенности поведения гусениц хлопковой совки еще нуждаются в изучении. Далеко не каждый контакт между ними приводит к каннибализму.

Но вот пример каннибализма, который касается хищного насекомого и, в отличие от приведенного выше, не характерен для вида в целом, а является следствием какого-то нарушения внутривидовых взаимодействий. Из нескольких сезонов, проведенных нами на Утришской морской биологической станции Института эволюционной морфологии и экологии животных АН СССР, лишь в один из них нам удалось наблюдать каннибализм у взрослых стрекоз-коромысел.



Каннибализм стрекоз-коромысел. Неестественность происходящего подчеркивается тем, что победительница поедает свою жертву, лежа на спине. Удивительно, что стрекоза вообще расценила как добычу объект, не уступающий по размерам ей самой.

³ Someijer M. J. // Insect. Soc. 1984. Vol. 31. № 2. P. 171—184.

⁴ Hoshikawa T. // Appl. Entomol. and Zool. 1981. Vol. 16. № 4. P. 395—405.

ОСЕННЯЯ ПЕСНЯ ПТИЦ

Е. А. Мошков,

кандидат биологических наук

Научно-исследовательский институт физиологии
Киевского государственного университета

Эти стрекозы территориальны — охраняют индивидуальные участки. Над тропой, проходящей неподалеку от морского побережья, патрулировало свои владения большое число стрекоз. После полудня хищники заняты охотой: то висят над тропой, то срываются в погоню за промелькнувшим неподалеку мелким насекомым. Однажды наше внимание привлек шорох трепещущих крыльев: две стрекозы, сцепившись, копошились в объятиях друг друга. Дальнейшие наблюдения убедили нас в том, что в поведении стрекоз эпизодически происходило нечто необычное. Они сцеплялись в воздухе и падали на землю; особь, находившаяся сверху, вгрызалась своими мощными жвалами в спинку жертвы и выедала все до основания ног, ожидая в первую очередь грудные ганглии, а в некоторых случаях могла откусить голову и крылья.

О причинах увиденного можно высказать лишь некоторые предположения. Возможно, стрекозы в то лето сильно расплодились и голодали. Но ничто, казалось бы, их не удерживало от того, чтобы рассредоточиться или перелететь к другим водоемам (разнокрылые стрекозы — прекрасные летуны). Кроме того, мух в тех местах было предостаточно. Возможно, нападения провоцировались территориальными спорами, т. е. контактами на границах патрулируемого воздушного пространства. Не исключено и нарушение в сфере репродуктивного поведения. К сожалению, по заказу нельзя повторить наблюдавшуюся природную ситуацию, чтобы досконально в ней разобраться. Но несомненно, каннибализм у беспозвоночных заслуживает специального изучения — и как закономерный фактор смертности в популяции, и как редкое патологическое явление.

ОСЕНЬЮ в средних широтах можно наблюдать странное, на первый взгляд, явление: в августе — сентябре скворцы возвращаются к покинутым гнездам, в которых уже вывели птенцов, и ведут себя так, как будто снова наступила весна. Самцы начинают петь, самки очищают скворечники, а иногда и ремонтируют старые гнезда. Осенью токуют тетерева и глухари, в воздухе играют галки, серые вороны, грачи, хищные птицы, нередко поют зеленушки, пеночки, коноплянки, щеглы и другие воробьиные птицы, барабанят дятлы, в брачном полете можно увидеть вальдшнепов, бекасов и других куликов.

Что побуждает птиц к столь необычному поведению осенью? В биологической литературе причины указываются только в самых общих чертах, осеннее пение связывают с «избытком энергии», «жизненных сил», а иногда в нем видят проявление эмоций в виде «грусти», «печали», «прощания с родным гнездом» в связи с отлетом птиц на юг. Но такие аргументы мало что объясняют. Скорее всего, брачное возбуждение осенью, в частности пение, обусловлено физиологическими изменениями, происходящими в организме птиц, в первую очередь гормональными сдвигами.

Известно, что диким птицам средних и высоких широт

свойственна четко выраженная сезонная цикличность размножения, которая сформировалась в процессе эволюции как приспособление к изменяющимся на протяжении года условиям среды. Роль своеобразного пускового механизма в цикличности размножения играет фотопериодизм. Весной световой период увеличивается день от дня и вызывает целую цепь последовательных реакций в организме. По мере увеличения длительности светового периода усиливается образование гормонов нервными клетками головного мозга в гипоталамусе и железе внутренней секреции — гипофизе, причем усиление происходит вначале у самцов, чуть позже — у самок. В первую очередь увеличивается количество гонадолиберина в гипоталамусе, а затем под их влиянием в гипофизе образуются и выводятся в кровь лютеинизирующий и фолликулостимулирующий гормоны, которые контролируют степень развития семенников и яичника, а также образование в них половых гормонов. Они-то и вызывают изменения в поведении птиц, воздействуя на нервные клетки головного мозга. Наступает период размножения.

По мере того как количество снесенных яиц увеличивается, в крови повышается уровень прогестерона — гормона, который образуется в стенках яйцевых фолликулов. Этот гор-

мон, достигнув определенного количества, вместе с половыми гормонами подавляет образование гонадотропных гормонов гипофиза. В свою очередь, их низкая концентрация приводит к усиленному образованию еще одного гормона гипофиза — пролактина. Этому же способствует уменьшение (в результате прекращения кладки яиц) количества прогестерона в крови. Итак, количество пролактина в гуморальной среде птиц все увеличивается, и как следствие подавляется синтез гормонов в гипофизе и половых гормонов в семенниках и яичнике. Нервная система освобождается от влияния половых гормонов, и брачные игры, ухаживание и другие признаки брачного поведения прекращаются. Произшедшие изменения в синтезе гормонов побуждают проявление родительского инстинкта: птицы начинают насиживать яйца, самцы кормить самок, оба родителя выхаживают и защищают птенцов.

Дальнейшие изменения в поведении птиц также связаны с гормонами. Например, родительский инстинкт постепенно угасает, так как уменьшается количество пролактина в крови. В гипофизе усиливается синтез тиреотропного гормона, что способствует выведению тироксина из щитовидной железы. Этот гормон попадает в кровь и вызывает интенсивное деление клеток перьевых сосочков. Начинают расти новые перья, т. е. наступает летне-осенний период смены пера и роговых покровов клюва, лап, во время которого птицы ведут скрытый образ жизни.

Описанное изменение в синтезе гормонов и его связь с длительностью светового дня весной доказана многочисленными экспериментами. По-видимому, подобным же образом

связаны изменения фотопериода и с поведением птиц осенью.

В самом деле, в августе — сентябре и марте — апреле световая периодичность в общем сходна, но имеет ту существенную разницу, что весной световой день удлиняется, а осенью становится короче. Однако именно увеличение светового периода необходимо для того, чтобы соблюдалось нужное количественное соотношение гормонов в гипоталамусе, гипофизе и гонадах. В связи с этим автор заметки склонен думать, что кратковременное брачное возбуждение птиц осенью можно объяснить сходным с весенним изменением фотопериода. Независимо от воли и желания птиц осенью вновь усиливается синтез и выделение в гуморальную среду их организма гормонов гипоталамуса и гипофиза, в результате на короткое время увеличивается и синтез половых гормонов в гонадах. Возникающие осенью изменения в поведении птиц — это конечный результат реакции организма на световые раздражения, т. е. проявление действия половых гормонов на нервные клетки головного мозга. В дальнейшем, по мере того как длительность светового периода сокращается, устраняется причина реакции организма, в результате образование гормонов ослабевает, а сексуальная активность птиц постепенно затухает.

Высказанное предположение получило подтверждение в самое последнее время: у самцов диких и домашних уток параллелизм между увеличением размера гонад, повышением уровня лютеинизирующего гормона гипофиза и половых гормонов в крови обнаружен не только весной, но и осенью, хотя и в меньшей степени.

Так, в общих чертах, можно объяснить, почему осенью у птиц наступает брачное возбуждение. Побудительная причи-

на — фотопериод, равный с весенним, а способствующие условия — обилие корма, теплая осень, благоприятное энергетическое и физиологическое состояние организма.

С биологических позиций, брачное поведение птиц осенью имеет важное значение для выживания вида и, по-видимому, закрепляется отбором: брачная песня, ухаживание — это сигналы, по которым срабатывает рефлекс группировки птиц парами задолго до того, как наступит период размножения (у утиных, например, пары образуются осенью). Кроме того, пению взрослых птиц подражают молодые, участь четко воспроизводит песню своего вида; весь комплекс поз и движений половых партнеров — это тоже образец, которому будут следовать потомки вида.

Рассказав о брачном поведении птиц осенью, нельзя не упомянуть, что его элементы проявляются также у амфибий и пресмыкающихся. Правда, пока таких сведений немного и они фрагментарны, не дают полной картины гормональной активности. Но если они подтвердятся на большем числе этих или других животных, такие преобразования в организме можно будет рассматривать как важное общее биологическое явление. В процессе эволюции оно могло способствовать выживанию той популяции животных, которая при расселении с юга на север приступала к размножению в наиболее благоприятные периоды года.

ВОЗМОЖНА ЛИ АДАПТАЦИЯ К МУТАГЕНАМ?

В ПОСЛЕДНИЕ годы все больше говорится о мутагенных свойствах некоторых веществ, давно и активно используемых людьми. Так, недавно установлены мутагенные свойства кофеина, а ведь напитки, содержащие кофеин, употребляются очень давно. Затем выяснили, что жареные мясо и рыба содержат много активных мутагенов. Вот и возникает вопрос, как употребление в пищу этих продуктов на протяжении веков сказывалось на человеческом организме!

С. Преображенский
Пермь

При ответе на этот вопрос нужно, прежде всего, сказать, видоизменяя известное высказывание Ж. Моно, что «не все, что мутагенно для кишечной палочки, мутагенно и для слона». Это обусловлено, главным образом, различиями в ферментных системах метаболизма чужеродных химических соединений (ксенобиотиков), в том числе и мутагенов у организмов разной степени сложности. Большинство же исследований мутагенной активности химических соединений выполнено на микроорганизмах, а выводы об их вредности распространены и на человеческий организм. Кроме того, можно предположить, что за многовековую историю соприкосновения с различными мутагенами живое выработало свои способы адаптации к ним. Известно ведь, что организм умеет вырабатывать антитела к антигенам, с которыми раньше никогда не встречался. Аналогичным образом организм достаточно быстро перестраивает свои системы

метаболизма ксенобиотиков, так что они оказываются способными перерабатывать вещества, с которыми не были знакомы.

Воздействуя на генетический аппарат клетки, мутаген, как правило, вызывает не мутацию, а лишь предмутационное изменение, которое может либо реализоваться в мутацию, либо «залечиться» при участии ферментных систем клетки. Так что в процессах мутагенеза организм выступает не пассивным, а активным началом. Для того чтобы произошла мутация, мутаген должен проникнуть в организм, быть доставлен к клеткам-мишеням, пройти сквозь клеточную мембрану, активироваться ферментными системами клетки и вступить во взаимодействие с ядерной ДНК, вызывая ее однолинейные разрывы. Мутации не произойдет, если разрывы будут обработаны ферментами репарации ДНК. Каждый из этих этапов контролируется организмом, причем механизмы такого контроля, с одной стороны, наследственно predeterminedены, а с другой стороны, допускают известную варибельность, обусловленную фенотипической нормой реакции. Следовательно, теоретически можно ожидать приспособления, адаптации организма к мутагенам.

В последующие годы вопрос о значении дозы мутагена приобрел несколько другой смысл. Исследователи предположили, что низкие дозы мутагена вызывают какие-то изменения в организме, ведущие к развитию его устойчивости по отношению к данному мутагену. Гипотеза оказалась верной, и вскоре появились сообщения об

экспериментах, подтверждающих возможность преадаптации организма к мутагенному действию химических соединений, развивающейся в результате предварительного введения того же вещества в низкой дозе.

В 1984 г. Р. Ригер, с сотрудниками из Центрального института генетики АН ГДР установили, что предварительная обработка проростков конских бобов (*Vicia faba*) низкими дозами мутагена оказывает защитное действие против того же мутагена, введенного в высокой дозе. Через год исследователи обнаружили перекрестную адаптацию клеток корешков *V. faba* при введении низких доз одного мутагена к высокой дозе другого. Выяснилось, что предварительная обработка проростков триэтиленмеламином приводит к снижению частоты хромосомных повреждений, вызванных воздействием N-метил-N-нитрозомочевинной. Подобный эффект наблюдался и в том случае, когда в качестве преадаптирующего вещества использовали N-метил-N-нитрозомочевину, а в большой дозе вводили триэтиленмеламин.

Изучались и возможности преадаптации у животных клеток. В 1986 г. К. Моримото с сотрудниками из Токийского университета (Япония) показали, что хроническая преобработка первичных культур лимфоцитов периферической крови человека низкими дозами N-метил-N'-нитро-N-нитрозогуанидина (МННГ) может привести к развитию устойчивости к последующему действию этого же препарата в высокой дозе. Кстати, в качестве показателя мутагенного действия МННГ исследователи использовали увеличение частоты сестринских хроматидных обменов, что служит более чувствительным индикатором мутагенности исследуемого препарата, чем увеличение числа поврежденных хромосом. Следует отметить, что в культу-

рах крови разных доноров степень защитного действия предварительно введенных малых доз существенно варьировала, что свидетельствует об индивидуальной предрасположенности к адаптивному. Исследователи полагают, что эта предрасположенность обусловлена генетически.

Биохимики и генетики, изучающие процесс преадаптации к мутагенному действию химических соединений, полагают, что снижение мутагенного действия высокой дозы вещества после предварительного введения низкой дозы связано с активацией ферментов репарации ДНК. Эти ферменты в ряде случаев способны «залечиванию» разрывов ДНК, возникших под действием мутагена, и их активность не только определяется генотипом организма, но и значительно модифицируется внешними факторами. Одним из таких модифицирующих факторов являются низкие дозы мутагенов.

Экспериментально это подтвердилось в работе И. Шурберта и сотрудников из Центрального института генетики АН ГДР в 1986 г. Исследователи изучали преадаптацию кофешки *V. faba* к действию маленгидразидов и N-метил-N-нитрозомочевины в условиях подавления активности ферментов репарации ДНК. Сначала вводили низкие дозы мутагена, затем вещества, ингибирующие процесс репарации ДНК, а уже потом проверяли вредоносность воздействия высоких доз мутагена. Оказалось, что в этих условиях защитное действие преадаптации снимается.

Таким образом, можно утверждать, что в основе адаптации клеток растений и животных к различным мутагенам лежит изменение активности ферментов, ответственных за репарацию ДНК. Правда, необходимо учитывать, что все эксперименты проводились *in vitro*.

Хотя в общих принципах понятно, что те же механизмы должны работать и в живом организме, опытных подтверждений этому пока нет. Также следует добавить, что в организме должны включаться еще и другие процессы, способствующие поддержанию гомеостаза, которые будут несомненно ускорять процесс адаптации к мутагенам.

Адаптация растений и животных к мутагенам имеет большое общебиологическое значение. Это связано, в первую очередь, с тем, что многие воздействующие на организм мутагенные факторы эволюционно не новы. Каждый организм живет не сам по себе, а во взаимодействии с другими организмами. Живые существа выделяют в окружающую среду огромное количество веществ. Уже сейчас из природных источников выделено более 20 000 химических соединений, проявляющих биологическую активность. И это лишь незначительная часть тех биологически активных веществ, которые постоянно вырабатываются и выделяются живыми организмами. Немалое число этих веществ обладает и мутагенным действием на соседние виды. Чтобы выжить в таких условиях, животные и растения должны были создать собственные системы адаптации к разнообразным мутагенам.

Но возможности систем адаптации к мутагенам ограничены. Адаптация работает только до какого-то предела насыщения. Опасность же промышленного загрязнения окружающей среды как раз и состоит в том, что на определенных площадях возникают чрезвычайно высокие концентрации мутагенов, не сравнимые с естественными условиями. В этом случае происходит поломка любых механизмов адаптации, и возрастание мутационного груза становится неизбежным.

Последние десятилетия характеризуются все большим поступлением в окружающую среду новых химических соединений, большая часть которых обладает мутагенными свойствами. Новые вещества постоянно окружают человека, поступающая в его организм с выхлопными газами автотранспорта, с пищевыми добавками и остаточными количествами пестицидов в пищевых продуктах, в виде новейших лекарственных препаратов и косметических средств, в виде пыли, содержащей частицы пластиковых покрытий и т. д. Мутагены увеличивают частоту мутаций, в подавляющем своем большинстве вредных для организма. Однажды возникнув, мутация не исчезает, а передается из поколения в поколение. Это приводит к постепенному возрастанию мутационного давления, которое в условиях насыщения среды мутагенами грозит «взорвать» весь генетический аппарат человека, да и не только человека. Мутагены включились в пищевые цепочки и постоянно циркулируют в биосфере, метаболизируясь в одном месте и накапливаясь в других. Метаболизм и накопление мутационно активных веществ происходят в клетках животных и растений, которые попадают в пищу человека. Все это нисколько не способствует нормальному функционированию систем адаптации.

Безусловно, эволюция позволила человеческому организму выработать гибкие и надежные средства защиты от вредных воздействий, часто неизвестных, а может быть, и еще не существующих. Однако возможности этой защиты небезграничны, и пользоваться ее преимуществами следует сдержанно и осмысленно.

Г. Г. Порошенко,
кандидат биологических наук

Москва

Космические исследования

Магнитное поле Урана «переезжает»!

Известно, что ось вращения Урана повернута относительно направления его магнитного момента на 60° . Столь необычно большой угол между ними требовал объяснений. Оно было предложено группой, возглавляемой М. Акуной (М. Асупа, Центр космических полетов им. Годдарда НАСА, США), после анализа данных, полученных «Вояджером-2».

По мнению американских исследователей, магнитное поле Урана в настоящее время находится в стадии полной перестройки, которая должна завершиться перемещением Южного полюса на место Северного, и наоборот. Такие обращения магнитного поля, вероятно, свойственны всем планетам, у которых это поле имеется; на Земле оно происходит приблизительно один раз в 200 тыс. лет. Хотя по геологическим масштабам времени процесс происходит довольно быстро, наблюдать его ученым непосредственно не приходилось. Существуют лишь палеомагнитные данные, свидетельствующие, что в прошлом геомагнитное поле имело противоположное направление.

Предлагаются гипотезы, объясняющие крупнейшие биологические катастрофы на Земле именно подобными явлениями. Поэтому чрезвычайно важно было бы проследить за изменениями в климате и атмосфере Урана, связанными с обращением магнитного поля планеты.

Впрочем, не все специалисты приняли гипотезу М. Акуны и его коллег. Изменение в наклоне оси вращения Урана (и, тем самым, точки его географического полюса) могло, например, возникнуть в результате столкновения планеты на

ранней стадии ее существования с небесным телом, размеры которого были близки к размерам Земли.

New Scientist, 1986. Vol. 111. № 1515. P. 21 (Великобритания)

Планетология

Существуют ли вулканы на Венере?

В ходе наблюдений, начатых в 1978 г. с борта американской космической межпланетной станции «Пионер-Венера», было установлено, что в атмосфере Венеры нередко происходят электрические разряды, подобные земным молниям.

По мнению Ф. Скарфа (F. Scarf; лаборатория аэрокосмической компании «TRW Inc.», США), обработавшего данные измерений, «всплески» электромагнитного поля вызываются известными и в земных условиях свистовыми колебаниями (или вистлерами), также связанными с молниевыми разрядами.

Известно, что на Земле грозы и молнии нередко сопровождают извержения вулканов. Молниевые разряды на Венере, по-видимому, группируются вокруг двух высокогорных районов, которые, судя по радиолокационным наблюдениям, в геологическом отношении самые молодые на планете; процессы горообразования здесь могут происходить и ныне. Все это навело Ф. Скарфа на мысль, что на Венере активный вулканизм может быть элементом не только отдаленного прошлого, но и современности.

Однако геофизики Г. Тейлор (H. Taylor; Центр космических полетов НАСА в Гринбелте, США) и П. Клотье (P. Cloutier; Университет г. Хьюстона, США) утверждают, что наблюдаемые над поверхностью Ве-

неры разряды представляют собой не молнии, а так называемые ионные акустические шумы, возникающие в узких, «провальных» областях ионосферы, где существуют чрезвычайно резкие перепады плотности плазмы. В качестве подтверждения они приводят карты расположения разрядов, построенные по данным приборов, которые измеряли электрическое поле Венеры с борта орбитальной отсека «Пионера-Венеры».

Явления, именуемые Ф. Скарфом молниевыми разрядами, действительно группируются между 35° с. ш. и 35° ю. ш. Но и «ионные провалы» располагаются в этом же регионе Венеры. Однако такое «предпочтение», по мнению Г. Тейлора и П. Клотье, лишь кажущееся: ведь только в этих широтах орбитальный отсек проходит сквозь достаточно низкие (и плотные) слои ионосферы, чтобы иметь возможность зарегистрировать всплески электромагнитного поля с частотой около 100 Гц.

Так случилось, что в этих широтах находятся молодые нагорья Бета и Афродита; однако сюда же относятся и другие области Венеры, отнюдь не считающиеся молодыми вулканическими районами. Более того, около 85 % загадочных «всплесков» происходит вне таких нагорий.

Анализ данных, полученных с помощью ультрафиолетового масс-спектрометра, показал, что с декабря 1978 г. количество двуокиси серы в верхней части облаков Венеры существенно сократилось.

Отсюда Л. Эспозито (L. Esposito; Университет штата Колорадо, США) сделал вывод, согласно которому незадолго до подлета автоматической станции к планете на Венере произошло мощное извержение вулкана. Оно могло выбросить в атмосферу значительное количество двуокиси серы, которое

затем постепенно шло на убыль. В пользу такого предположения, в частности, говорит тот факт, что аналогичные последствия в земной атмосфере наблюдались после катастрофического извержения вулкана Эль-Чичон в Мексике.

Science News. 1986. Vol. 129. №14. P. 215 (США).

Астрофизика

Антипротоны в составе космических лучей

Американский физик А. Баффингтон (А. Buffington; Калифорнийский университет) проанализировал результаты измерений интенсивности антипротонов, полученные разными группами исследователей в последнее десятилетие. Как известно, антипротоны составляют небольшую часть (около 0,01 %) от общего потока частиц в космических лучах. Предполагается, что антипротоны не инжектируются источниками космических лучей, а образуются в межзвездном пространстве при взаимодействии протонов высоких энергий с ядрами газа, т. е. имеют вторичную природу. Реакция их образования характеризуется пороговой энергией, превышающей 1 ГэВ, поэтому и ожидалось, что в области энергий, меньших 1 ГэВ, поток этих частиц будет малым.

В составе космических лучей имеются более тяжелые вторичные ядра. Измерения у поверхности Земли позволили установить, что ослабление их интенсивности соответствует тому, что космические лучи на своем пути в Галактике взаимодействуют с веществом, эффективная толщина слоя которого (произведение средней плотности вещества на длину пути) составляет 5—7 г/см². Ожидалось, что интенсивность антипротонов у Земли также будет соответствовать этой толщине. Однако в первых же измерениях интенсивность антипротонов с энергией в несколько ГэВ превысила ожидаемую в 5 раз, а при энергиях 0,1 ГэВ — в 100 раз.

Почему «история» антипротонов в нашей Галактике иная, чем у тяжелых ядер?

Трудно предложить эксперименты, которые дали бы определенный ответ. Одна из возможностей — оценить эффективную толщину вещества, проходимую космическими лучами в Галактике, по интенсивности других легких вторичных ядер, например ³He (они возникают при столкновении первичных ядер ⁴He с ядрами межзвездного газа).

Эффективная толщина вещества, проходимая протонами в Галактике, исходя из интенсивности антипротонов, примерно равна 30 г/см². Естественно было бы ожидать и аномально высокую интенсивность ядер ³He в составе космических лучей. Однако измерения интенсивности ³He при энергиях 6 ГэВ показали, что величина эффективной толщины примерно равна 15 г/см², т. е. более высокая, чем у тяжелых ядер, но все же ниже, чем вычисленная из данных по антипротонам.

Предлагаются модели, объясняющие относительно высокую интенсивность антипротонов тем, что их генерация происходит в областях с высокой плотностью газа — в молодых оболочках Сверхновых или в гигантских молекулярных облаках. Преимущественное рождение именно антипротонов в этих областях связано с тем, что более тяжелые вторичные ядра гибнут там из-за столкновений с молекулами газа¹.

Волна новых идей, объясняющих происхождение и распространение космических лучей, генерацию вторичных ядер в их составе, нуждается в новых и более точных экспериментах, которые бы подтвердили или опровергли те или иные модели. Однако проведение подобных экспериментов технически трудно выполнимо и поэтому осуществляется медленно. Тем не менее надежду вселяет то, что сразу в нескольких странах группы физиков готовы провести подобные измерения в ближайшем будущем.

Nature. 1986. Vol. 319. № 6050.

P. 178—179 (Великобритания).

Астрономия

Радиоинтерферометрический эксперимент в космосе

Более 20 лет назад советские радиоастрономы Л. И. Матвеевко, Н. С. Кардашев и Г. Б. Шоломицкий (Институт космических исследований АН СССР) предложили метод, позволивший кардинально, на несколько порядков, улучшить один из основных параметров астрономического инструмента — угловое разрешение¹. Метод, получивший название радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ), состоит в регистрации излучения объекта в двух и более удаленных друг от друга точках и последующей обработке, которая имитирует процесс построения изображения одиночного телескопом.

Как известно, разрешающая способность радиотелескопа определяется размером антенны (апертурой). Для РСДБ таким размером является расстояние между точками регистрации: чем больше расстояние (база интерферометра), тем выше угловое разрешение. Для наземной радиоастрономии существует предельное угловое разрешение, соответствующее диаметру Земли. Это предельное значение было достигнуто в середине 70-х годов, когда начались регулярные наблюдения на глобальной РСДБ-сети, объединившей почти все крупные радиотелескопы мира. Были получены чрезвычайно важные данные о структуре активных галактических ядер, квазаров, областей образования звезд.

Вместе с тем стало ясно, что для понимания происходящих в этих объектах процессов, а также для решения целого ряда других актуальных задач астрофизики необходимо еще больше повысить угловое

¹ Подробнее об этом см.: Гигантские молекулярные облака в Галактике // Природа. 1986. № 2. С. 100—101.

¹ Матвеевко Л. И., Кардашев Н. С., Шоломицкий Г. Б. // Изв. вузов. Радиофизика. 1965. Т. 8. № 4. С. 651—654.

разрешение. Для этого нужны радиointерферометры с базой, превышающей диаметр Земли. Так возникла необходимость вывода радиотелескопа в космос. Существенной вехой в становлении радиоастрономии был вывод на орбиту первого космического радиотелескопа KPT-10, работавшего на борту советской орбитальной станции «Салют-6» в 1979 г.

В июле 1986 г. международная группа радиоастрономов из США, Австралии, Японии и других стран провела первый наземно-космический РСДБ-эксперимент². В качестве космического радиотелескопа использовался американский геостационарный спутник «TDRSS», предназначенный для двусторонней ретрансляции телевизионных передач между Землей и низкоорбитальными космическими аппаратами. Спутник оснащен двумя параболическими антеннами диаметром 4,9 м. В эксперименте синхронно использовались обе антенны: одна принимала излучение исследуемого объекта, другая — опорный сигнал с Земли. Управление и прием данных велись в наземном Центре Уайт Сэндс (Нью-Мехико, США). Наземными радиотелескопами служили 64-метровая антенна Системы дальней космической связи США (Deep Space Network), расположенная в Тидбинбилле (Австралия) и 64-метровая антенна Института астронавтики и космических исследований в Усуде (Япония).

Выбор источников для эксперимента представлял известную трудность. Во-первых, они должны быть достаточно мощными, поскольку космическая антенна имеет очень маленький по современным меркам диаметр. Во-вторых, антенны спутника «TDRSS» могут вводиться лишь на те источники, которые находятся внутри не очень широкого конуса, описанного около оси спутник — Земля. Наконец, положительный результат эксперимента могли дать лишь те источники, в

«радиоизображениях» которых имеются яркие и компактные детали. Этим требованиям удовлетворяют три квазара: NRAO 539, 1510—089, 1741—038.

Во время эксперимента для всех трех источников была надежно зарегистрирована интерференция. Тем самым подтвердилась правильность технических концепций, заложенных в первом, демонстрационном (как называют его авторы) эксперименте. Полученный результат особенно важен, поскольку в ближайшем десятилетии готовится запуск на околоземную орбиту специализированных спутников «Радиоастрон» (СССР)³ и «Квасат» (Европейское космическое агентство)⁴, оснащенных радиотелескопами. В подготовке и проведении этих проектов участвуют многие ведущие радиоастрономические институты и обсерватории мира.

Л. И. Гурвиц
Москва

Физика

Луна — источник ³He для термоядерной энергетики

Реакция синтеза $D + {}^3\text{He} \rightarrow p(14,7 \text{ МэВ}) + {}^4\text{He}(3,6 \text{ МэВ})$ давно привлекает внимание исследователей как источник экологически чистой термоядерной энергии: и исходное топливо, и все продукты реакции — нерадиоактивные заряженные частицы. Можно добиться, что доля энергии, уносимая нейтронами, которые рождаются в побочных реакциях, не будет превышать 1%. Прямое преобразование энергии заряженных частиц в электричество позволяет достичь высокого КПД электростанции, уменьшающего тепловые загрязнения окружающей среды. Снижение в 100 раз нейтронного потока резко упро-

щает проблему выбора материалов для термоядерного реактора.

Однако условия, при которых возможна реакция синтеза $D - {}^3\text{He}$, значительно более жесткие, чем для обычно рассматриваемой реакции $D - T$. Тем не менее перечисленные выше преимущества были бы достаточны для обоснования серьезных попыток осуществить этот процесс, если бы на Земле имелись сколь-нибудь значительные источники изотопа ³He. На самом же деле исходного гелиевого сырья на Земле недостаточно для работы даже одной электростанции мощностью 500 МВт в течение нескольких месяцев.

Согласно современным астрофизическим представлениям, все элементы и их изотопы возникли в результате Большого Взрыва, после чего подвергались ядерной переработке в недрах звезд и сепарации в процессе образования планет. Первоначально Вселенная состояла из водорода (93,4%) и гелия (6,5%), причем соотношение изотопов ³He/⁴He равнялось $140 \cdot 10^{-6}$. Основной поставщик гелия на Земле — радиоактивный распад урановых и ториевых руд, сопровождающийся рождением α -частиц. Поэтому земной гелий сильно обогащен тяжелым изотопом ⁴He. Больше всего гелия содержит природный газ — некоторые скважины в Техасе дают концентрацию гелия до 8% (по объему), но отношение ³He/⁴He в них не более $0,2 \cdot 10^{-6}$, а полные ресурсы изотопа ³He не превышают 200 кг. В земной атмосфере содержится около $4 \cdot 10^3$ т ³He, но очень низкая концентрация гелия вообще и легкого изотопа в частности (менее 10^{-11} по объему) делают его извлечение из атмосферы нерентабельным.

Есть веские основания ожидать, что огромные количества ³He содержатся в атмосферах планет-гигантов, однако доставка этого газа с Юпитера и Сатурна вряд ли может рассматриваться как реальная задача даже для техники XXI в.

Полеты космических зондов показали, что за магнитосферой Земли существует по-

² Levy G. S. et al. // Science. 1986. Vol. 234. P. 187—189.

³ Андреев В. В., Кардашев Н. С. и др. // Астрон. журнал. 1986. Т. 63. Вып. 5. С. 850—855.

⁴ QUASAT — A VLBI observatory in Space. ESA SP—213. 1984.

стоянный поток заряженных частиц — солнечный ветер, несущий со скоростью 450 км/с около $6 \cdot 10^{10}$ атомов гелия/м² в секунду; в этом потоке весьма высоко соотношение изотопов гелия: ${}^3\text{He}/{}^4\text{He} = 480 \cdot 10^{-6}$. Этот гелиевый поток в течение 4 млрд лет беспрепятственно падает на поверхность Луны, которая благодаря своей мелкозернистой структуре оказалась идеальной собирающей поверхностью. Химический анализ образцов лунного грунта показал, что в почве лунных морей содержится до 30 мкг гелия на грамм почвы при высокой ($400 \cdot 10^{-6}$) доле ${}^3\text{He}$. Всего в тонком слое лунного грунта толщиной 5 м, возможно, содержится около 1 млн т ${}^3\text{He}$. Для его извлечения достаточно подогреть грунт до температуры 600 °С. Учитывая, что для покрытия всех энергетических нужд мира сегодня нужно сжигать в термоядерных реакторах около 100 т ${}^3\text{He}$ в год, ясно, что лунных запасов хватит на тысячелетие. Однако извлечение и доставка этого топлива на Землю потребует значительных энергетических затрат. Окупятся ли они?

Расчеты, проделанные группой Г. Кулчинского (G. Kulcinski; Висконсинский университет, США), велись в предположении, что все оборудование будет изготовлено на Земле, доставлено на Луну существующими космическими средствами (с затратой 120 МДж на 1 кг веса оборудования) и проработает на Луне без замены 10 лет, а в качестве источника энергии будет использовано Солнце. Оказалось, что подобная операция энергетически выгодна. Затраты энергии на добычу 1 кг ${}^3\text{He}$ составят около 2400 МДж. Количество же энергии, которое может быть высвобождено из 1 кг ${}^3\text{He}$, составляет $2,4 \cdot 10^6$ МДж, т. е. превышает затраты энергии на производство топлива в 250 раз. Заметим, что для существующих технологий эта цифра составляет 20 при добыче урана и всего лишь 16 — при добыче уг-

Таким образом, добыча и доставка ${}^3\text{He}$ с Луны оказываются энергетически рента-

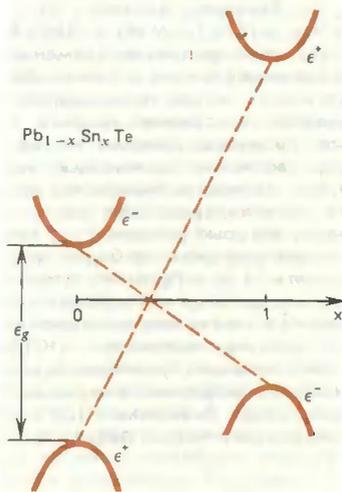
бельными и возможными уже на сегодняшнем уровне техники, что снимает одно из основных ограничений на использование реакции синтеза D— ${}^3\text{He}$.

Fusion Technology. 1986. Vol. 10. Part 1. P. 167—178 (США).

Физика

Заряженные «нейтрино» и «сверхтяжелые» электроны в полупроводниках

Б. А. Волков и О. А. Панкратов (Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР) предлагают создать неоднородные полупроводниковые структуры, в которых электроны вели бы себя либо как безмассовые частицы, характеризующиеся спиральностью (заряженные «нейтрино»), либо, наоборот, как частицы с бесконечно большой массой. Эти необычные свойства диктуются новым видом квантовомеханической симметрии — авторы назвали его суперсимметрией эффективного потенциала, в котором движутся электроны.



Движение энергетических зон (ϵ^- и ϵ^+) в полупроводнике $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ при изменении состава (например, концентрации олова x). С увеличением x ширина запрещенной зоны $\epsilon_g = \epsilon^- - \epsilon^+$ меняет знак.

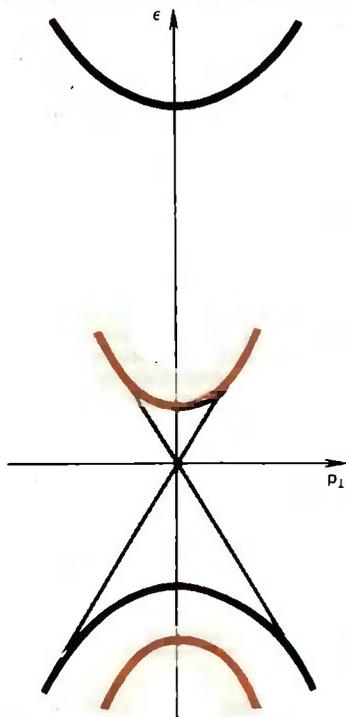
В полупроводниках, у которых запрещенная зона ϵ_g между энергетическими состояниями электронов проводимости и валентной зоны достаточно мала, движение носителей заряда аналогично движению релятивистских частиц и описывается уравнением Дирака; в нем роль энергии покоя $m_0 c^2$ играет величина $\epsilon_g/2$.

Если для свободного электрона $m_0 c^2$ — постоянная величина, то в полупроводнике ϵ_g можно легко изменять, меняя, например, его состав. Так, в $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ с увеличением концентрации олова (x) ширина запрещенной зоны $\epsilon_g = \epsilon^- - \epsilon^+$ меняет знак (см. первый рис.), обращаясь в нуль в точке инверсии. Это дает возможность, меняя состав кристалла в процессе его роста, синтезировать неоднородную структуру, представляющую собой гетеропереход между полупроводниками с прямым и инверсным расположением зон (инверсный контакт).

Движение электронов в такой структуре описывается уравнением Дирака с переменной в пространстве (меняющей знак!) массой покоя. Благодаря этому уравнение обладает дополнительной симметрией, аналогичной известной в теории поля суперсимметрии. Независимо от вида переходной области эта симметрия гарантирует наличие в таком контакте безмассовых электронных состояний. По существу это пограничные состояния, поскольку находящиеся в них электроны локализованы у плоскости контакта. Вдоль такой плоскости их движение свободно и энергия движения прямо пропорциональна импульсу P_{\perp} (см. второй рис.). Подобная зависимость энергии от импульса характерна для частицы с нулевой массой покоя, например нейтрино.

Аналогия с нейтрино станет более полной, если отметить, что пограничные состояния не вырождены по спину. Как и нейтрино, их можно характеризовать спиральностью — проекцией эффективного «спина» на вектор \vec{P}_{\perp} . Таким образом, в плоскости контакта имеется двумерный газ «заряженных» нейтрино. Его плотность составляет 10^{11} частиц/см².

К каким новым наблюда-



Зависимость энергии электронов ϵ в инверсном контакте от величины импульса P_{\perp} параллельного плоскости контакта. Серые линии — невырожденные безмассовые пограничные состояния. Цветом показаны объемные дираковские зоны в однородном полупроводнике слева от контакта, черным — справа от контакта (эти зоны двукратно вырождены по сплину).

вым эффектам могут привести безмассовые пограничные состояния? В отличие от настоящих нейтринно безмассовые электроны должны сильно реагировать на внешние электрическое и магнитное поля. Например, в магнитном поле, перпендикулярном плоскости контакта, безмассовый энергетический спектр (показанный на втором рис.) расщепляется на уровни Ландау. При этом величина расщепления намного (в 10—100 раз) превышает расстояние между уровнями Ландау зонных электронов. Это гигантское расщепление спектра будет проявляться в экспериментах по поглощению света в магнитном поле, специфических осцилляциях

магнитной восприимчивости и сопротивления с изменением магнитного поля и в других эффектах.

Другая неоднородная суперсимметричная структура может быть получена в сегнетоэлектриках типа $Pb_{1-x}Ge_xTe$ (или в том же $Pb_{1-x}Sn_xTe$). Это обычная доменная стенка, разделяющая области с разным направлением вектора поляризации.

Таким образом, использование полупроводниковых соединений с узкой запрещенной зоной должно существенно расширить возможности зонной инженерии — технологии создания искусственных материалов с новыми электронными свойствами.

Письма в ЖЭТФ. 1985. Т. 42. № 4. С. 145—148; 1986. Т. 43. № 2.

С. 99—101.

Вычислительная техника

Суперчипы

Фирмы «Филипс» (Нидерланды) и «Сименс» (ФРГ) приступили к созданию запоминающих устройств для микропроцессоров с размерами компонентов менее 1 мкм. Это позволит создать динамические запоминающие устройства с произвольным порядком выборки, емкость памяти которых составит 4 Мбит. Свой проект исследователи назвали «Мегапроект».

Изображение структурных элементов размером 0,7 мкм создается на кремниевых подложках с помощью специального оптического устройства, работающего на линии испускания паров ртути (356 нм). Изображение проецируется линзой на определенный участок кремниевой подложки. Затем пластина сдвигается, и рисунок проектируется на соседний участок; процесс повторяется несколько раз. После проведения операции фотолитографии¹ пластина разрезается на отдельные чипы.

¹ Подробнее о фотолитографии см.: Комар А. А. Рентгенолитография: перспективы использования в микроэлектронике // Природа. 1987. № 1. С. 80—90.

Запоминающее устройство с емкостью памяти 1 Мбит содержит более 5 млн транзисторов.

Проектирование и испытания устройства осуществляются с помощью системы «Венус», содержащей вспомогательный компьютер. «Венус», имеющий библиотеку стандартных структурных элементов, создает базовую модель проектируемого чипа на основе логической блок-схемы, определяет электрические характеристики структурных элементов, моделирует их работу, а также вычисляет электрические характеристики транзисторов (напряженность поля и ток в схеме). Проектирование интегральной схемы, содержащей более 5000 логических блок-схем, «Венус» осуществляет за 2—3 недели. С помощью компьютеров можно проводить испытания чипов, выявлять неполадки в схеме, а также находить чипы, вышедшие из строя. Предусмотрен также ремонт схемы с помощью лазера, выжигающего дефектные участки.

Осуществление «Мегапроекта» проводится в сотрудничестве с японской фирмой «Тосиб».

New Scientist. 1986. Vol. 109. № 1500. P. 34 (Великобритания)

Химическая физика

Молекулярные проводящие

В последние годы большой интерес проявляется к разработке молекулярных приборов, т. е. устройств размером с крупную молекулу, действующая часть которых не превышает несколько тысяч ангстрем. Для создания таких приборов необходимы не только функциональные единицы (диоды, переключатели и т. д.), но и элементы связи, организующие работу всего прибора, т. е. молекулярные провода. Они должны содержать электронпроводящую цепь, иметь на концах электроактивные и полярные группы для обмена электронами, наконец, они должны быть достаточно длинными, чтобы прони-

зывать ту молекулярную систему, в которую они внедрены.

Группа французских физиков и химиков во главе с Ж.-М. Леном (J. M. Lehn) объявила о синтезе новых молекул, которые удовлетворяют перечисленным требованиям. Молекулы сочетают в себе свойства виологенов и каротиноидов, поэтому авторы предлагают назвать их «каровиологенами». На концах таких молекул находятся водорастворимые заряженные пиридиновые группы, между которыми протянута полиеновая цепочка длиной 30—34 Å с чередующимися двойными связями (известно, что по таким цепочкам возможен перенос электронов). Важно, что каровиологены не только синтезированы, но и встроены в липидные везикулы. Длина цепочки с учетом размеров концевых групп достаточна, чтобы пронизать двойной липидный слой мембраны.

Чтобы доказать такую поперечную ориентацию молекул каровиологенов в двойном слое, были изучены температурные зависимости двух спектральных характеристик, одна из которых относится к липидам, а другая — к каровиологенам. Оказалось, что обе характеристики испытывают резкий скачок в точке фазового перехода гель — жидкий кристалл. Так как спектральные характеристики каровиологенов, не встроенных в мембрану, слабо зависят от температуры, то наблюдение совместных температурных скачков — сильный аргумент в пользу того, что каровиологены прошивают мембрану поперек. Такое трансмембранное расположение определяется, по-видимому, длиной молекулы каровиологена, так как специально синтезированные для сравнения укороченные молекулы с длиной полиеновой цепи 19 Å не встраиваются нужным образом.

Основываясь на известных размерах молекул, авторы предлагают структурную схему, в которой положительно заряженные концевые группы каровиологенов слегка смещены внутрь двойного липидного слоя относительно отрицательно заряженных фосфатных головок липидов, а полиеновая цепь параллельна молекулам жирных кис-

лот и тесно взаимодействует с ними, что и определяет их общее поведение при фазовом переходе.

Таким образом, проведен синтез нужных молекул и их встраивание в матрицу из липидов. Теперь слово за эксперименталистами по проводимости: пойдет ли ток по таким проводам?

Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 1986. Vol. 83. № 15. P. 5355—5359 (США).

Молекулярная биология

Клеточная фабрика белков

Гибридомы, клеточные гибриды лимфоцитов и миеломных опухолевых клеток, обычно применяются для производства больших количеств моноклональных антител¹. Способность гибридом к длительному размножению использована исследователями из парижского Института Пастера (Франция), возглавляемыми К. Бабинэ (С. Babinet), для получения длительно культивируемых линий клеток, синтезирующих гормон роста человека.

Сначала были получены мышинные лимфоциты, способные синтезировать гормон роста человека. Для этого гены, кодирующие гормон роста, были сшиты с регуляторными участками одного из генов главного локуса гистосовместимости класса I. Этот комплексный ген вводили в оплодотворенные яйцеклетки мышей путем микроинъекций. Поскольку регуляторные участки генов гистосовместимости класса I активны во всех клетках животных, в геноме клеток мышей, развивающихся из этих яйцеклеток, содержался активный ген гормона роста. Был он и в лимфоцитах, которые затем использовались для получения гибридом.

Гибридные клетки вводились в брюшную полость других

мышей, где происходило усиленное их размножение. При этом в выпотную жидкость поступало значительное количество гормона роста (порядка десятков микрограмм на 1 мл). На заключительной стадии процесса авторы выделяли гормон роста человека из выпотной жидкости мышей.

Гибридомные клетки можно размножать бесконечно, поэтому разработанный метод позволяет получать гормон роста человека в больших количествах. Вполне вероятно, что этот метод может использоваться и для получения других биологически активных белков, в том числе и тех, которые обычно не секретируются клетками во внешнюю среду.

European Journal of Immunology. 1986. Vol. 16. № 8. P. 1033—1035 (ФРГ).

Молекулярная биология

РНК контролирует старение клеток

До сих пор непонятно, почему здоровые клетки способны лишь непродолжительное время существовать в виде клеточной культуры. Несколько десятилетий назад было установлено, что клетки животного делятся лишь несколько раз, а затем прекращают деление, перестают расти и умирают.

Результаты, полученные группой исследователей из Медицинской школы Бейлора (Хьюстон, США) под руководством Дж. Р. Смита (J. R. Smith), отчасти проясняют механизм старения клеток. Сначала была выдвинута гипотеза о существовании сигнального белка старения. Для экспериментальной ее проверки пришлось бы выделять и сравнивать белки из быстро делящихся молодых и переставших делиться стареющих клеток — но белков в клетке тысячи, и многие из них содержатся в очень малых количествах.

Исследователи пошли по другому пути, они выделили матричному РНК, которая управляет синтезом белков, и ввели

¹ Подробнее см.: Мечетнер Е. Б., Червоносский А. В. Метод гибридом и его возможности // Природа. 1984. № 9. С. 80—88

ее в клетку. Оказалось, что мРНК стареющих клеток вызывает резкое угнетение главных процессов, связанных с делением клетки, прежде всего процесса удвоения молекулы ДНК. Для контроля была использована мРНК молодых клеток, которая, как и ожидалось, не вызвала угнетающего эффекта.

По подсчетам авторов, в стареющих клетках «вредная» мРНК составляет около 1 % всей мРНК клетки, тогда как в молодых клетках ее концентрация по крайней мере в 100 раз меньше. В заключение они предлагают начать поиски «генов старения», что обещает стать весьма важным и увлекательным направлением биологических исследований.

Science, 1986. Vol. 232. № 4748.
P. 393—395. (США).

Молекулярная биология

Активированные лимфоциты против опухолей

Киллерами (от англ. killer — убийца) называются Т-лимфоциты, способные уничтожать опухолевые клетки. Для этого они нуждаются в стимуляции гормоном иммунной системы интерлейкином-2, который повышает активность Т-лимфоцитов и способствует их размножению. В 1985 г. С. Розенберг (S. Rosenberg) и его сотрудники из Национального института рака США сообщили об определенном успехе в лечении меланомы с помощью киллеров, *in vitro* активированных интерлейкином-2. Однако этот метод лечения оказался очень трудоемким и вызывал нежелательные побочные явления. Этим недостатком лишен новый метод, разработанный той же группой исследователей.

Метод «туморо-инфильтрирующих лимфоцитов» (ТИЛ) основан на выделении киллеров непосредственно из опухолевой ткани. Небольшой кусочек опухоли разделяется на отдельные клетки. Извлеченные из смеси и обработанные интерлейкином-2 киллеры (ТИЛ) выращи-

ваются в культуре для получения достаточного количества клеток. Затем активированные ТИЛ возвращаются в организм. Для снижения иммунной реакции организма на введение ТИЛ дополнительно инъецировали иммунодепрессант циклофосфамид и отдельно интерлейкин-2.

Через 15 дней у экспериментальных животных рассасывались опухоли толстого кишечника, а также их метастазы в печени и легких. Мыши, излеченные с помощью ТИЛ, обрели иммунитет против клеток собственной опухоли. Интересно, что мышинные ТИЛ при подготовке клеток активировались человеческим интерлейкином, т. е. действие гормона в этом случае оказалось невидоспецифичным.

В настоящее время выделены ТИЛ человека, размноженные в культурах тканей. Их клиническое испытание должно показать, будут ли активированные человеческие ТИЛ столь же эффективны в поражении опухолей, как мышинные, и достаточно активны против метастазов.

Science, 1986. Vol. 233. № 4770.
P. 1318—1323 (США).

Иммунология

Белок Т4 — рецептор для вируса СПИД

Т-лимфотропный вирус, вызывающий в человеческом организме синдром приобретенного иммунодефицита (СПИД), поражает Т-лимфоциты, имеющие в составе мембран белок Т4¹. Дж. Макдугал (J. S. McDougal) с сотрудниками из Центра по инфекционным заболеваниям в Атланте (США) доказали, что именно этот белок служит рецептором для вируса.

Исследователям удалось получить ряд моноклональных антител против Т4-белка и показать, что добавление этих

антител к Т-лимфоцитам препятствует присоединению вируса к последним. В другой серии опытов из смеси белков, полученной после разрушения Т-лимфоцитов с присоединенным вирусом, выделены комплексы, состоящие из Т4 и вируса. Другие мембранные белки Т-клеток не реагировали с вирусом. Что касается вирусных белков, то лишь один из них (молекулярная масса 11 000 Д) способен связываться с Т4-белком.

По мнению авторов, изучение механизма взаимодействия Т-лимфотропного вируса с мембранным белком Т4, а возможно, и разработка способа блокировать эту реакцию необходимы для терапии и профилактики СПИД.

Science, 1986. Vol. 231. №4736.
P. 382—385 (США)

Генетика

Генная инженерия в защите растений

Специалисты из исследовательской лаборатории технологической компании GSP (Бельгия) предложили использовать для борьбы с насекомыми-вредителями генетические методы. С помощью микроинъекций в клетки взрослых растений табака вводился ген бактерий *Bacillus thuringiensis*, кодирующий выработку бактериального токсина, способного убивать личинки насекомых-вредителей.

Лабораторные испытания, длившиеся в течение года, показали, что те растения табака, в геном которых успешно встроился ген токсина *B. thuringiensis*, приобрели высокую устойчивость против вредителей. Личинки, питавшиеся на генетически измененных растениях, через 48 часов после попадания на листья оказывались парализованными и в течение суток погибали. Приобретенную устойчивость растения передавали последующим поколениям.

Затем опыты были повторены в условиях теплицы. У подвзросших генетическому воз-

¹ Подробно об этом см.: Лиознер А. Л., Быковский А. Ф. Новая группа ретровирусов // Природа. 1986. № 4. С. 20—34.

действию растений табака повреждения, нанесенные посаженными на листья личинками, были минимальны, и все личинки исчезли с листьев через 4 суток. Авторы установили, что количество вырабатываемого клеткой растения бактериального токсина сопоставимо с его количеством, вырабатываемым клеткой *B. thuringiensis*.

В дальнейших экспериментах авторы предполагают использовать для борьбы с насекомыми и другие гены, кодирующие различные токсины бактерий. Успешная разработка генетических методов защиты растений позволит отказаться от применения пестицидов в растениеводстве.

New Scientist. 1986. Vol. 110. № 1504. P. 18. (США).

Биофизика

Механизм слияния биологических мембран

Слияние клеток и клеточных органелл — необходимая стадия многих биологических процессов — включает объединение клеточных мембран и ограничиваемых ими жидких объемов. Это явление исследуется с помощью модельных систем на основе липидных бислоев. Л. В. Черномордик, С. Л. Лейкин, В. С. Маркин, М. М. Козлов и Ю. А. Чизмаджев (Институт электрохимии им. А. Н. Фрумкина АН СССР) подробно проанализировали по-

следовательность событий в модельном сталкерном механизме слияния мембран.

Основой этого механизма служит возникновение между мембранами узкой перемычки — сталка (от англ. stalk — черенок). Стенка сталка состоит, вероятнее всего, из одного липидного монослоя. В таком случае расширение сталка приводит к появлению триламнарной (трехслойной) структуры, состоящей из одиночного бислоя, граничащего по периметру с двумя бислоями мембран. Возможность возникновения и эволюцию сталка определяет естественная кривизна монослоев мембраны, связанная с формой липидных молекул.

Проведя расчеты, авторы выяснили общую картину слияния мембран. После их сближения на расстояние 20—30 Å отталкивающие силы гидрофильного взаимодействия преодолеваются за счет тепловых колебаний изгиба поверхностей сближающихся мембран. При сближении до расстояния, меньшего 5 Å, нарушается структура контактирующих монослоев мембран из-за гидрофобного взаимодействия и образуется сталк. Затем сталк расширяется, формируется триламнарная структура, и в контактном бислое образуется пора, соединяющая объемы жидкости, ограничиваемые мембранами. После этого происходит разрыв триламнарной структуры, приводящий к завершению процесса слияния мембран.

Таким образом, на разных стадиях слияния мембран, при

образовании сталка и гидрофильной поры, последовательно реализуются структурные перестройки, затрагивающие форму липидных молекул в разных монослоях мембран.

Доклады АН СССР. 1986. Т. 288. № 4. С. 1009—1013.

Биофизика

Гамма-лучи против мутаций

До недавнего времени считалось, что ионизирующее излучение повышает частоту мутаций в генетическом аппарате животных. С 1983 г. появляются данные, противоречащие этой гипотезе. Исследователи из Института биологии моря ДВНЦ АН СССР во главе с Ю. А. Митрофановым выяснили, что воздействие на геном гамма-лучей в некотором диапазоне доз уменьшает число хромосомных нарушений.

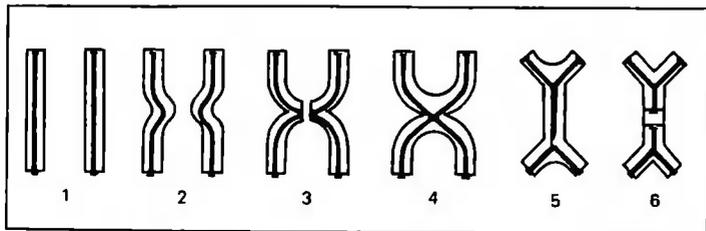
Они предположили, что характер этого воздействия можно выяснить при высоком уровне естественного мутагенеза в геноме объекта изучения. Таким объектом стали зародыши горбуши *Oncorhynchus gorbusha*, для которых характерно значительное количество спонтанных хромосомных нарушений в ходе развития.

В первой серии опытов исследовались икринки, осеменные спермиями, которые подверглись различным дозам облучения. Эксперименты показали, что дозы облучения в 18,7 и 9,3 Гр (1 грэй=100 рад) увеличивали количество хромосомных нарушений в облученных клетках соответственно в 6 и 3,5 раза по сравнению с контрольными необлученными образцами. В образцах, получивших дозу в 1 Гр, выявлено снижение числа нарушений по сравнению с контролем. Доза в 0,5 Гр достоверно уменьшала число хромосомных нарушений в 8—21 раз (в зависимости от стадии развития икринок).

В экспериментах второй серии при облучении развивающихся в икре зародышей гор-

Последовательные стадии слияния мембран. Цифрами обозначены: 1 — равновесие плоских мембран, 2 — локальное сближение, 3 — разрыв контактирующих монослоев, 4 — образование сталка, 5 — обра-

зование триламнарной структуры, 6 — разрыв контактного бислоя. Цветными линиями показаны границы гидрофобных поверхностей монослоев.



буши дозой 0,5 Гр число нарушений сначала увеличивалось в 3 раза выше уровня спонтанного мутагенеза, но через некоторое время снижалось, приблизительно в 1,9 раза ниже уровня спонтанного мутагенеза. Авторы объясняют это усилением репаративной способности клеток после облучения. Доза облучения в 0,1 Гр давала устойчивый антимутагенный эффект. Число нарушений было в среднем в 3 раза меньше, чем у контрольных образцов.

Радиобиология. 1986. Т. XXVI.
Вып. 3. С. 383—387.

Биохимия

Фактор метастазирования

Биохимия

Мутация — причина гемофилии В

Исследователям из Оксфордского университета (Великобритания) под руководством Дж. Броунли (G. G. Brownlee) удалось выяснить природу молекулярного дефекта, вызывающего гемофилию В, или болезнь Кристмаса. Это тяжелое наследственное заболевание связано с нарушением синтеза белка, участвующего в свертывании крови и называемого фактором IX.

Фактор IX синтезируется в печени в виде удлиненного предшественника, который, попадая в кровь, претерпевает ряд превращений, в частности теряет некоторые аминокислоты. У больных гемофилией В фактор IX длиннее, чем у здоровых людей, и это не позволяет ему выполнять функции свертывания.

Причина дефекта, по мнению авторов, состоит в том, что в одном из участков аминокислотной цепи, где обычно происходит отщепление «лишних» аминокислот в процессе созревания белка, вместо аргинина появляется глутамин, что в свою очередь обусловлено мутацией соответствующего гена. Такая аминокислотная замена приводит к тому, что протеолитический фермент типа трипсина, ответственный за модификацию фактора IX, уже не способен отщепить нужную часть пред-

шественника. Удлиненный белок неактивен и не может должным образом участвовать в свертывании крови.

Авторы надеются, что выяснение молекулярных дефектов при гемофилии поможет найти рациональные подходы к ее лечению.

Cell. 1986. Vol. 45. № 3. P. 343—348
(США).

распространение в организме.

Кроме того, получение достаточного количества АФМ с помощью современных биотехнологических методов даст хирургам и терапевтам средство для ускорения заживления ран и ликвидации дефектов мышечной стенки после инфаркта миокарда.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 1986. Vol. 83.
№ 12. P. 4167—4171 (США).

Биотехнология

Достижения биологии — косметике

Известная французская фирма «Кристиан Диор» начала производство нового крема для устранения морщин. Он явился результатом исследований, проведенных сотрудниками фирмы совместно с биохимиками их парижского Института Пастера в двух направлениях: выяснились молекулярные и клеточные механизмы увядания и старения кожи, а также возможности направленного транспорта веществ с помощью липосом.

Исследователям удалось установить, что одной из причин старения кожи служит затвердевание поверхностной мембраны клеток, в результате чего утрачивается ее способность к избирательной фильтрации различных метаболитов. Это ведет к нарушению равновесия внутриклеточного содержания фосфолипидов и холестерина с внеклеточной средой, в следствие этого — к дальнейшему затвердеванию мембраны. Внутриклеточный холестерин не только хуже выводится из клетки, но и хуже метаболизируется. Клетка теряет способность синтезировать белки эластин и коллаген, необходимые для регенерации кожной ткани.

Для предотвращения таких функциональных изменений в клетке предложено использовать липосомы — сферические микрокапсулы, сходные по своему химическому составу с некоторыми компонентами клеточных мембран. Благодаря та-

Л. Лиота и его сотрудники (L. Liotta, Национальный институт рака, США) выделили из клеток меланомы человека белок, способствующий повышению миграционной активности клеток, в частности способности опухолевых клеток к метастазированию. При добавлении этого белка, названного аутокринным фактором миграции (АФМ), в культуру опухолевых клеток подвижность клеток повышается, и они становятся способными проникать через поры фильтра, тормозившего в отсутствие АФМ их миграцию.

Выяснилось также, что здоровые клетки тоже синтезируют АФМ, но в очень небольшом, строго регулируемом количестве. Он, в частности, вырабатывается граничными клетками поверхности раны и клетками эмбриона. И те, и другие клетки характеризуются повышенной способностью к миграции. АФМ образуется также и при инфаркте миокарда.

Открытие фактора метастазирования открывает новую перспективу в диагностике и лечении опухолей. Так, увеличение содержания АФМ в крови может указывать на злокачественное перерождение опухоли и увеличение ее способности к метастазированию. А поскольку теперь известен и ген АФМ, то надо надеяться на открытие в скором будущем специфических ингибиторов как гена, так и самого белка. Применение таких ингибиторов, например моноклональных антител, позволит сдерживать рост опухоли и ее

кому сходству липосомы легко встраиваются в мембраны и могут поэтому использоваться для направленного транспорта в мембраны недостающих биологически активных соединений. В составе нового крема есть липосомы (размером до 0,1 мкм) из лецитина сои с добавками растительных экстрактов, содержащих фосфолипиды. Липосомы «заряжены» экстрактом из зобной железы и пептидами коллагена и эластина, а также гиалуроновой кислотой в качестве природного гидратанта. Испытания крема показали значительное улучшение состояния кожи у подавляющего большинства испытуемых за короткий период времени.

Parfumes, cosmétiques, arômes. 1986. № 70. P. 98—99 (Франция).

Психология

Наследственность, среда и темперамент

Американский психолог Дж. Лозлин из Техасского университета провел наиболее фундаментальные на сегодняшний день исследования влияния наследственности на темперамент человека: он обследовал 220 семей с приемными детьми и 44 пары взрослых однояйцевых близнецов и их детей; кроме того, он использовал данные по 147 парам однояйцевых и 153 парам двуйцевых близнецов, полученные в более ранних исследованиях¹. Особую ценность представляет анализ близнецов с их детьми, имеющий большое преимущество перед анализом только близнецовых пар или просто пар родителей — ребенок. Поскольку однояйцевые близнецы генетически идентичны, степень генетического сходства ребенка

одного из близнецов с дядей (теткой) такая же, как и с родителем; в генетическом плане ребенок одного из близнецов может рассматриваться как ребенок другого. Но воспитательное воздействие родителя на ребенка, конечно, гораздо больше, чем влияние дяди (тетки), с которыми ребенок общается, как правило, не так уж часто.

Темперамент оценивался с помощью шкалы Терстона, которая учитывает следующие характеристики: общую активность (темп движений, речи и т. д.); энергичность (склонность к риску, спорту, физической работе); импульсивность; доминантность (склонность доминировать в отношениях с людьми, в коллективе); эмоциональную устойчивость; общительность; рефлексивность (склонность к самоанализу, умственные интересы и т. д.).

Дж. Лозлин обнаружил существенное влияние генотипа на большинство исследованных характеристик: около 45 % всей изменчивости показателей темперамента обусловлены наследственно. По-видимому, остальные 55 % связаны с воздействием среды (считается, что третьего источника изменчивости не существует). Однако никаких конкретных факторов среды, влияющих на темперамент (воспитание, особенности семейного быта, питания и т. д.), найти не удалось.

У близнецов очень важным фактором развития темперамента оказался характер взаимоотношений в паре. Так, у однояйцевых близнецов складываются отношения, которые еще больше их сближают, поэтому сходство их весьма значительно даже по тем признакам, наследуемость которых (по данным анализа других родственников) сравнительно невелика. Отношения двуйцевых близнецов сложнее. Хотя генетически они не более похожи, чем обычные братья и сестры, их отличало высокое сходство по характеристикам энергичности и рефлексивности (которые, кстати, представляют не столько черты темперамента, сколько интересы и склонности). По другим параметрам (активность, импульсивность, доминантность, общи-

тельность) сходство двуйцевых близнецов, несмотря на одновременность рождения и одинаковую среду, было даже меньшим, чем у обычных братьев и сестер. Психологический анализ их взаимоотношений² показывает, что в процессе психического развития они как бы «отталкиваются» друг от друга, в отличие от однояйцевых, которых, помимо генетического сходства, характеризует сильнее взаимное «притяжение». Например, когда близнецы одновременно выполняют какое-либо задание, двуйцевые, как правило, рассматривают это как ситуацию соревнования, где один должен обязательно в чем-то обойти другого. Поведение однояйцевых близнецов прямо противоположно: они стремятся сделать все одновременно и одинаково, а если один видит, что опережает другого, он обязательно даст возможность догнать себя. Отношения обычных братьев и сестер в такой ситуации чаще всего (хотя встречаются разные варианты) достаточно индифферентны: каждый делает свое дело, мало обращая внимания на другого³.

Хотя объектом генетического анализа в работе Дж. Лозлина являются чисто психологические характеристики темперамента, без анализа его нейрофизиологических и биохимических коррелятов, материалы этих исследований актуальны и интересны в рамках общей проблемы соотношения биологического и социального в человеке.

Б. И. Кочубей,
кандидат психологических наук
Москва

Зоология

Пустынные лягушки

Общезвестно, что земноводные тесно связаны с влажными биотопами и, как правило, живут вблизи водоемов. Однако есть среди лягушек и такие,

¹ Loeblin J. C. // Behavioral Genetics. 1986. Vol. 16. № 1. P. 61—73; Vandenberg S. G. // Amer. J. of Human Genetics. 1962. Vol. 14. P. 220—237; Rosenman R. H. // Acta Genetica Medica et Gemellologica. 1976. Vol. 25. P. 221—224.

² Семенов В. В., Кочубей В. И. Близнецы: проблемы воспитания и развития. М., 1985.

³ Segal N. L. // Ethology and Sociobiology. 1984. Vol. 5. P. 163—177.

что приспособились к жизни в пустынных зонах почти столь же хорошо, как и пресмыкающиеся. В самый сухой и жаркий сезон они обычно зарываются в почву. Лишь несколько видов бесхвостых земноводных переживают это трудное для всего живого в пустынях время, сидя на ветвях растений на самом солнцепеке. К их числу относятся и представитель веслоногих лягушек *Hiperolius viridiflavus nitidulus*, встречающийся в засушливых западноафриканских саваннах. Температура воздуха может достигать здесь 45 °С, а сухой сезон длится 5—6 месяцев. Все это время хиперолиус, длина тела которого не более 1,5—2 см, неподвижно сидит на каком-нибудь сухом листе. Какие же особенности экологии и физиологии сделали возможным обитание земноводных в столь несвойственных для них условиях?

Подробное исследование этого феномена предприняли западногерманские биологи В. Гайзе и К. Линзенмайр (W. Geise, K. E. Linsenmaier; Зоологический институт в Вюрцбурге). Оказалось, что в сухой период в организме хиперолиуса происходят существенные изменения. В коже, например, в 4—6 раз увеличивается количество серебристых пигментных клеток — иридофоров. Благодаря этому лягушка приобретает вместо коричневой блестяще-белую окраску и отражает значительную часть солнечных лучей. Ее тело покрывается тонким непроницаемым слоем засохшей слизи. Резко изменяются и физиологические показатели. Кожное дыхание (преобладающее у земноводных) практически прекращается: животные дышат только легкими; не происходит ни мочеиспускания, ни дефекации, ни кожного выделения. В результате суточная потеря воды составляет всего 1,2 % массы тела — это в 30 раз меньше, чем во влажный сезон! (Такой же уровень влагоотдачи характерен для пустынных пресмыкающихся.) Но в экстремальных условиях, с повышением температуры воздуха до 43—44 °С, влагоотдача у лягушек увеличивается, предохраняя их от перегрева.

Интересно, что кожа на внутренней стороне конечностей сохраняет высокую абсорбционную способность. Когда лягушка спокойно сидит, эта поверхность прижата к туловищу и практически не испаряет воду, но при малейшей возможности (например, при выпадении росы) она начинает поглощать воду из среды.

Хиперолиусы живут недолго: на жизнь индивида приходится, как правило, только один суровый период сухого сезона.

Oecologia. 1986. Bd. 68. № 4. S. 533—541 (Западный Берлин).

Зоология

Прямое доказательство адаптивности морфологического признака

Адаптивный характер морфологических признаков не всегда можно доказать экспериментально. Обычно их адаптивность оценивается путем межвидовых сравнений. Однако американскому исследователю Дж. Каротерсу (J. Carothers; Калифорнийский университет) удалось именно на опыте показать адаптивную ценность своеобразного приспособления, которое имеется у многих живущих в песках ящериц. Речь идет о треугольных выростах чешуйчатого покрова, образующих гребешки по бокам пальцев. Такие гребешки известны у нескольких десятков видов, относящихся к пяти разным семействам.

В эксперименте определялась скорость бега по твердому субстрату и по песку, на горизонтальной и наклонной поверхностях у игуановой ящерицы *Uma scorpia* с целыми или с удаленными гребешками. Удаление зубчиков гребешков — операция практически безболезненная, не отражающаяся на здоровье ящериц. Не вызывала она и существенного изменения скорости бега по твердому субстрату. Но вот на сыпучем песке ящерицы, лишенные гребешков, стали бегать значительно медленнее (скорость упала на 15 % на горизонтальной и на 9 % —

на наклонной поверхности). Биомеханическая роль гребешков объясняется легко: они снижают скольжение лапы по песку, что и дает этим ящерицам определенное селективное преимущество.

Evolution. 1986. Vol. 40. № 4. P. 871—874 (США).

Зоология

Ящерицы и хищники

Недолг век ящериц в природе. Считается, что для большинства из них 2—3 года — солидный возраст. Основная причина их смертности — это хищники, в число которых входят змеи, птицы, грызуны, насекомоядные и хищные млекопитающие, а кроме того, и сами ящерицы. До сих пор не удавалось количественно оценить смертность ящериц от хищников в природе. Такую попытку предпринял Дж. Манжер (J. S. Munger; Висконсинский университет, США).

Исследователь вел наблюдения за ящерицами рода *Phrynosoma*. Более крупным ящерицам — *Ph. cornutum* (27 экземпляров) на спину были прикреплены миниатюрные радиопередатчики, а мелких ящериц — *Ph. modestum* (28 экземпляров) пометили радиоактивным иридием. Лишь в первые часы после мечения наблюдалось некоторое нарушение в нормальном поведении ящериц, в дальнейшем метки не мешали их жизнедеятельности. Таким способом удалось проследить индивидуальную судьбу меченых ящериц, включая выяснение обстоятельств их гибели.

Оказалось, что в Аризоне самыми опасными врагами этих ящериц являются скорпионовые хомячки *Onychomys torridus* и *O. leucogaster*, птица сорокопут *Lanius ludovicianus* и койот *Canis latrans*. Ежегодная смертность от этих четырех хищников для *Ph. cornutum* оценивается в 14—52 %, а для *Ph. modestum* — в 49—87 %. Более высокая смертность у мелкого вида по-

нятна: мелкие животные всегда более уязвимы.

Coreia. 1986. № 3. P. 820—824 (США).

Этология

Запах змей против змей

Т. Кобаяси и М. Ватанабе (Т. Kobayashi, M. Watanabe; Университет г. Окаяма, Япония), изучая поведение сибирского бурндука (*Eutamias sibiricus asiaticus*), обнаружили интересную его форму: при встрече с мертвой змеей бурндук острожно приближается к ней, кусает, а затем выгрызает кусочек кожи и растирает им собственную шкуру. Если в вольере, где велись эти исследования, находилось одновременно несколько бурндуков, то они поочередно подходили к змее и поступали аналогичным образом. Интересно, что бурндуки, обычно агрессивные к сородичам, вели себя в этой ситуации вполне миролюбиво.

Чтобы выяснить природу такой формы поведения, бурндукам в вольере предлагали замороженные трупы, а также мочу и фекалии нескольких видов змей, ящериц, лягушек, мелких млекопитающих и птиц, обитающих в тех же биотопах, что и бурндуки. Оказалось, что описанное поведение наблюдается только при контакте с трупами змей, их мочой и фекалиями. Удалось также установить, что источниками змеиного запаха служат некоторые отделы прямой кишки и кожа змей. Авторы высказали гипотезу, что бурндуков от нападения змей предохраняет змеиный запах. Провели опыт: живой змее предлагали два трупа белых мышей, один из которых был смазан змеиной мочой. Мышей, не имеющих «змеиного запаха», они съедали раньше.

Люди для приготовления противозмеиной сыворотки используют их яд, бурндуки же научились защищаться от укусов змей с помощью одного лишь их запаха.

Ethology. 1986. Vol. 72. P. 40—52 (ФРГ).



Охрана природы

Численность белого аиста сокращается

Впервые Международный учет белого аиста (*Ciconia ciconia*) был организован по инициативе орнитологической станции Росситен (Германия) в 1934 г. В дальнейшем такие учеты проводились уже под эгидой Международного совета по охране птиц (СИПО) в 1958, 1974 и 1984 гг. Итоги последнего по времени учета были подведены на состоявшемся в октябре 1985 г. IV Международном симпозиуме по белому аисту, который проходил в г. Вальсроде (ФРГ). В его работе приняли

участие орнитологи из 22 стран. Поскольку в некоторых странах результаты учета еще не были обработаны, представлялись сведения за 1980—1983 гг.

IV Международный учет белого аиста показал, что его численность в Западной Европе и на Ближнем Востоке продолжает сокращаться. В ряде стран он уже исчез полностью.

Internationale Storch-Symposium in Walsrode // Storch-Mitteilungen. 1986. № 52. S. 1—5 (ФРГ).



Экология. Охрана природы

Загрязнение реки Гудзон

Степень и характер загрязнения р. Гудзон — крупнейшей водной артерии на северо-востоке США — в течение шести лет изучала общественная организация страны ИНФОРМ, ставящая целью независимый от правительства сбор и распространение сведений о состоянии природной среды в США.

Измерялось содержание в воде Гудзона 21 вида различных токсических веществ — органических, неорганических, в том числе пестицидов, масел и смазочных материалов, нередко включающих ядовитые компоненты, и т. п. Был составлен список 185 предпрятий в штатах Нью-Йорк, Массачусетс, Нью-Джерси и Вермонт, расположенных в бассейне Гудзона и допустивших за эти годы хотя бы разовый сброс таких веществ. Составлены также таблицы, показывающие ежесуточное химическое состояние стока реки в 1982 г. (при этом обнаружен большой разброс в критериях оценки различных параметров, допускаемый федеральной системой охраны природы США и ее органами в разных штатах).

Из загрязняющих агентов наиболее часто встречаются технические масла и смазочные материалы, а также нефтепродукты; они обнаружены в 1/4 части тех 555 крупных и мелких притоков Гудзона, которые были обследованы. За ними, в поряд-

Число гнездящихся пар белого аиста*

Португалия	2 300
Испания	5 800
Франция (Эльзас)	19
Швейцария (восстановленная популяция)	109
Бельгия (1974 — 1 пара)	0
Нидерланды	34
Дания	19
ФРГ	649
ГДР	2 724
Австрия	320
СССР	более 1 670
Венгрия	4 693
Румыния	около 5 000
Болгария	нет данных
Югославия	около 4 500
Албания	нет данных
Греция	1 500
Польша	33 000
Турция	9 000
Сирия и Ирак	нет данных
Иран	3 150
Израиль	4
Йемен	1
Алжир	более 2 000
Марокко	около 13 500
Тунис	330

* По данным IV Международного учета (цифры выделены) и за 1980—1983 гг.

ке убывания, следуют: производные шестивалентного хрома, свинец, толуол, цианид, хлороформ, ртуть, кадмий, хлористый метилен и трихлорэтилен. В отработанных водах 66 заводов и фабрик, действующих на территории бассейна, обнаружены такие известные своими канцерогенными свойствами вещества, как мышьяк, бензол и шестивалентный хром. 54 предприятия выбрасывают в природную среду кадмий, хлороформ, полихлорированные бифенилы и бис(2-этил-гексил)фталат, также предположительно канцерогенные.

Составлены 33 карты, на которых показаны 185 «точечных» источников загрязнения Гудзона с указанием характера их выбросов. Отмечается недостаток данных о «неточечных» источниках загрязнения, включающих сток с сельскохозяйственных полей, с городских улиц, со стройплощадок, особенно усиливающийся после обильных ливней и в период таяния снега. Этим исследованиям посвящается вторая стадия работ, проводимая ныне под руководством химика-эколога С. Романа (S. O. Rohmann).

Ambio. 1986. Vol. XV. № 1. P. 57. (Швейцария).

Палеонтология

Древнейший прозавропод

Группа палеонтологов во главе с Р. Лонгом (R. Long; Университет штата Калифорния, Беркли, США) реконструировала остатки ископаемого ящера, обнаруженного в 1985 г. на территории национального парка Петрифайд Форест (Окаменелый Лес) в штате Аризона. По предварительным данным, это животное, длина которого не превышала 2,4 м, а масса составляла около 70 кг, является прозавроподом, обитавшим примерно 225 млн лет назад (в то время нынешняя территория Аризоны находилась на 2500 км ближе к экватору). Столь древние прозавроподы (граница перми и триаса) до сих

пор науке не были известны.

Анализ остатков Герти (такую кличку дали ученые этому животному по персонажу одного из мультфильмов) и их сопоставление со значительно менее полными скелетами других ископаемых ящеров, хранящимися в запасниках Палеонтологического музея в Беркли, показали, что открытый ящер принадлежит к новому роду и виду прозавроподов, от которых в процессе дальнейшей эволюции могли произойти гигантские завроподы.

Остатки Герти ныне экспонируются в Палеонтологическом музее вместе с окаменелыми остатками примерно 200 видов ископаемых растений — главным образом папоротникообразных и голосеменных (цветковых растений в то время еще не было), многие из которых служили этому ящеру пищей.

Управление национальных парков США заказало Университету штата Калифорния и Музею естественной истории штата Нью-Мексико изготовить из стекловолокна слепки четырех почти полных скелетов ископаемых ящеров, также найденных на территории этого Окаменелого Леса, для их последующего экспонирования.

Палеонтологические работы в национальном парке Петрифайд Форест продолжаются.

New Scientist. 1986. Vol. 109. № 1500. P. 24. (Великобритания).

Геология

Крупные месторождения золота и алмазов

В конгломератах, накопившихся более 1,5—2 млрд лет назад, известны крупные месторождения золота совместно с алмазами, реже — одних алмазов. Россыпное происхождение алмазов очевидно, а вот генезис золотого оруденения долгое время вызывал острые дискуссии. В последние годы получены бесспорные свидетельства о россыпного происхождения золота (а также нередко сопутствующих ему урана и плати-

ноидов) в конгломератах. Примерами гигантских по размерам и продуктивности метаморфизованных россыпных месторождений, образовавшихся в интервале 2,8—2,3 млрд лет назад, служат урано-золотоносные с алмазами и платиноидами конгломераты рудного района Витватерсранд в ЮАР. Многочисленные месторождения группируются там в шести рудных полях в полосе шириной 50 и длиной около 400 км. Золотоносные или урано-золотоносные конгломераты известны в Бразилии (Жакобина), Гане (Таркве), Западной Австралии (Наллагайн), в США (Лэд); по количеству добытого золота они резко уступают Витватерсранду, но все же являются крупными или средними месторождениями.

Столь высокая продуктивность древних россыпей по сравнению с отдельно взятыми молодыми нуждается в объяснении. А. А. Константиновский (Центральный геологоразведочный институт — ЦНИГРИ) связывает это со специфическими условиями размещения и формирования таких объектов.

В отличие от молодых (третичных и четвертичных) россыпей, которые приурочены главным образом к речным долинам на приподнятых и размываемых территориях, ископаемые россыпи формировались преимущественно в областях, испытавших длительное прерывистое погружение. Такая приуроченность к осадочным бассейнам и обусловила чрезвычайную длительность периода их формирования и несравненно большие масштабы поступления россыпных компонентов из питающих областей в эти древние месторождения, что и определило их богатство. Четыре относительно небольших золотороссыпных поля Тарквы дали, например, более 200 т металла, а только в одном из шести разобоченных полей Витватерсранда (Восточном Ранде) к 1972 г. было добыто 15 412 т золота.

За период формирования древних россыпей (десяtkи миллионов лет) питающие их области подвергаются эрозионному срезу на глубину до нескольких километров; происходит ин-

тенсивное химическое выветривание источников золота и алмазов, высвобождение этих компонентов из разрыхленной массы первичных руд. За столь длительный срок золотоносные и алмазоносные галечники подвергаются неоднократному перемыву, а это способствует повышению концентрации золота и алмазов. Так, среднее содержание золота в конгломератах Витватерсранда 10,22 г/т, тогда как в молодых россыпях оно обычно не превышает 1 г/м³ вмещающих отложений; среднее содержание алмазов в ископаемых россыпях докембрийских конгломератов на севере Индии — 0,5—0,9 кар/т, а в молодых долинных россыпях — почти на порядок ниже.

Для большинства древних бассейновых россыпей характерно плащеобразное строение и наличие нескольких продуктивных пластов в разрезе. Так, золотоносные пласты Жакобины распространены на площади 2×15 км, Тарквы — 6×30 км, Витватерсранда — 20×30 км и более. Число продуктивных пластов колеблется от 4 до 6 и больше. Молодые же россыпи речных долин — это в большинстве своем узкие и непротяженные полосы с одним продуктивным пластом.

Древние россыпи областей размыва и денудации встречаются гораздо реже, чем бассейновые. Это связано с неблагоприятными условиями для их захоронения и трудностью обнаружения ввиду относительно малых размеров таких объектов. Однако и эта группа россыпей заслуживает внимания при прогнозной оценке новых регионов. Например, золотые россыпи с алмазами и платиноидами известны в древних глубоко эрозанных долинах Калифорнии, где они перекрыты мощными толщами вулканических пород и испытали тектонические деформации. Золотые россыпи в аналогичной обстановке известны на востоке Австралии. В Калифорнии из них добыто в общей сложности 2000 т золота, в Австралии — около 700 т.

Благоприятные условия для формирования россыпей — как в речных долинах, так и в осадочных бассейнах — воз-

никали на протяжении геологической истории многократно. Это позволяет предполагать существование пока не обнаруженных крупных месторождений золота и алмазов в конгломератах. Тем более, что систематических поисков в конгломератах большинства районов мира не проводилось.

Советская геология. 1986. № 1.
С. 53—62.

Геология

109-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»

В соответствии с Международной программой глубоководного бурения в 109-м рейсе предстояло прежде всего продолжить исследование океанической коры, начатые в 106-м рейсе. Обе эти экспедиции, проходившие в районе разлома Кейн, где скорость спрединга (растяжения дна океана) составляет 2 см/год, должны были внести свой вклад в выяснение процессов генерации магмы и образования океанической коры в срединных хребтах в ходе спрединга. Научными работами на борту судна руководили У. Брайан (W. Bryan; Вудсхоллский океанографический институт, США) и Т. Жюто (T. Juteau; Бретанский университет, Франция).

Скважина 648, расположенная на вершине подводного вулкана¹, была углублена всего на 17,2 м (от 33,3 до 50,5 м под уровнем дна). Был пройден базальтовый комплекс — застывшее лавовое озеро, некогда находившееся под вулканом. Верхняя часть лавы обогащена газами, ниже базальты становятся массивнее, лучше раскристаллизованными.

В рейсе применена интересная методика палеомагнитного анализа: исследовались магнитные свойства (склонение,

наклонение) цемента, залитого в скважину в 106-м рейсе. Как оказалось, в цемента возникла наведенная (индуктивная) намагниченность; поскольку она отвечает окружающим породам, можно, очевидно, при палеомагнитных исследованиях заменить цементом, который бурится легко, собственно базальты дна, которые разрушаются буровым инструментом, в связи с чем выход керна обычно бывает очень низким. Палеомагнитные данные, как известно, дают возможность определить возраст пород; в скважине 648 он отвечает эпохе Брунеса, начавшейся 0,7 млн. лет назад.

На западном склоне подводного хребта, ограничивающего рифтовую долину, пробурена скважина 669 (глубина моря 1979 м). Эта точка с координатами 23°31'02" с. ш. и 45°02'75" з. д. была заранее выбрана с помощью глубоководного исследовательского аппарата «Алвин». Скважина заложена там, где на вершину горы в результате тектонических процессов выведены глубинные породы — габбро. Однако, несмотря на тщательную подготовку, скважина 669 оказалась неудачной: было пробурено всего 4 м, причем не по габбро, а по базальтам; глубже встретились столь твердые породы, что бурение пришлось прекратить. Что это за породы, осталось невыясненным.

Затем судно перешло на скважину 395, пробуренную еще «Гломаром Челленджером»: здесь были проведены обширные скважинные геофизические измерения, интерпретацию которых предстояло выполнить в береговых условиях.

В заключение рейса была пробурена скважина 670, в точке с координатами 23°10' с. ш. и 45°01'93" з. д., почти в самом центре рифтовой долины. Место для бурения также заранее обследовалось «Алвином», обнаружившим там перидотиты (породы верхней мантии). По этим породам скважина прошла 92,5 м. Часть перидотитов содержит отчетливые структуры течения, что указывает на происходивший подъем этих глубинных пород к поверхности дна. Предполагается, что эти породы

¹ Подробнее см.: 106-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн» // Природа. 1986. № 12. С. 112.

в результате серпентинизации становятся менее плотными, приобретают определенную «плаучность», что и приводит к выдавливанию их к поверхности. Это — первый случай извлечения мантийных пород в процессе бурения на срединно-океанических хребтах.

Скважины 109-го рейса могут быть углублены в ходе последующих экспедиций бурового судна. Участники рейса — специалисты из США, Канады, Франции, Японии, ФРГ и Великобритании — считают, что проведенные работы подтвердили сложившиеся к настоящему времени представления о составе и механизме образования океанической коры.

JOIDES Journal. 1986. Vol. XII. № 2. P. 36—40; Ocean Drilling Program News Release. Leg. 109. 1986. P. 1—6 (США).

Онкология

«Черные курильщики» открыты в окраинных морях

«Черными курильщиками», как известно, называют сложенные сульфидами полиметаллов конические постройки, из кратеров которых в морскую воду изливаются гидротермальные растворы. Считалось, что эти образования характерны для рифтовых зон срединно-океанических хребтов. В начале 1986 г. две экспедиции, независимо одна от другой, открыли, что в окраинных морях юго-западной части Тихого океана тоже идут процессы формирования «черных курильщиков».

Судно «Маона Уэйв», принадлежащее Гавайскому университету (США), провело детальные исследования участка Ново-гвинейского моря, прилегающего к о. Новая Ирландия¹. С помощью сонаров (высокоточная ультразвуковая гидролокация) была обследована площадь дна

в 40 тыс. км², что позволило выявить многие неизвестные ранее мелкие детали рельефа. В частности, на фоне выровненного дна обнаружен невысокий протяженный хребет; на этом месте ранее, еще по сейсмическим данным и магнитным аномалиям, предполагалось (в том числе и автором настоящей заметки²) существование центра расширения дна — небольшой по масштабу оси спрединга, пересеченной крупными трансформными разломами. Вблизи «узла» пересечения оси спрединга с трансформным разломом и были — впервые в истории изучения окраинных морей — открыты «черные курильщики».

С борта судна «Томас Вашингтон», на котором проходила экспедиция Скриппсовского океанографического института (США), обнаружены «мертвые» курильщики (т. е. без выходов гидротерм), которые расположены во впадине Лай — неглубоком (около 2,5 км) бассейне, протянувшегося в тылу островной дуги Тонга, параллельно ей³. При драгировании дна примерно на 15° ю. ш. и 175° з. д. были подняты фрагменты курильщика, представленные сульфидными полиметаллическими отложениями (сульфиды цинка, железа, меди), а также образцы свежих андезитов-базальтов. Драгирование проводилось на глубине 2100 м в пределах неширокой впадины, обрамленной хребтами высотой 300—500 м. С этой зоной связаны крупная магнитная аномалия, локальная сейсмичность, что указывает на протекающие здесь процессы расширения дна. Обнаруженное подводное месторождение находится в пределах территориальных вод Королевства Тонга.

Открытие «черных курильщиков» в окраинных морях — явление замечательное со многих точек зрения. Во-первых, подтверждается принципиальное подобие процессов раз-

вития в срединно-океанических хребтах и в окраинных морях, расположенных в тылу островных дуг: последние также образуются в результате растяжения земной коры, хотя здесь процессы спрединга протекают более сложно. Во-вторых, окраинные моря расположены вблизи островов, что упрощает проблему добычи со дна полезных ископаемых. Развивающиеся страны, которые занимают островные территории на значительной площади западной части Тихого океана, чрезвычайно заинтересованы в разведке полезных ископаемых в пределах своих территориальных вод и зон исключительных экономических интересов.

А. Е. Сузюмов,
кандидат
геолого-минералогических наук
Москва

Палеоокеанология

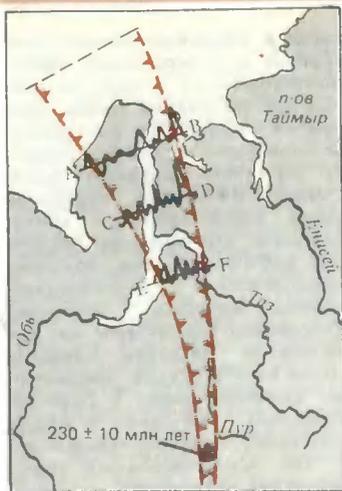
Гипотетический палеоокеан в Западной Сибири

Ямало-Пуровский авлакоген (так геологи называют особую геологическую структуру на севере Западно-Сибирской низменности) представляет собой крупнейшую аномалию в тектонике всего района: эта клином сужающаяся к югу линейная зона подвижна, а лежит она в пределах спокойной континентальной платформы. Для этой зоны характерны повышенные значения теплового потока и силы тяжести; земная кора здесь намного тоньше, чем на окружающую территорию; отсутствует типичный «гранитный» слой со скоростью сейсмических волн 6 км/с (здесь их скорость повышена до 6,5—7 км/с). Но наиболее яркая особенность Ямало-Пуровского авлакогена заключается в структуре аномального магнитного поля: на этой территории поле знакопеременное, полосовые магнитные аномалии симметричны относительно оси авлакогена. Все эти данные убедительно говорят,

² Сузюмов А. Е. Тектоника дна юго-западной части Тихого океана. М., 1978.

³ Eos (Transactions of the American Geophysical Union). 1986. Vol. 67. № 17. P. 430.

¹ Pacific Science Association Information Bulletin. 1986. Vol. 38. № 2. P. 16—17.



Обзорная карта Ямало-Пуровского авлакогена (его северная граница проведена условно на основе палеорекострукций). На профилях А—В, С—Д и Е—Ф даны графики остаточной компоненты аномального магнитного поля. Цифры у обозначения буровой скважины показывают возраст наиболее древних осадков.

что земная кора Ямало-Пуровского авлакогена имеет типичный субокеанический облик.

С. В. Аллонов (Ленинградская геофизическая экспедиция производственного геологического объединения Севзапгеология), много лет изучавший геолого-геофизическую обстановку северной части Западно-Сибирской низменности, считает, что в древности на месте Ямало-Пуровского авлакогена плескались воды океана. В конце палеозоя Урал, Таймыр и Сибирская платформа были значительно ближе друг к другу. На границе палеозоя и мезозоя между ними стал разрастаться океанический бассейн. По палеомагнитным данным, это разрастание началось 235 млн лет назад, а завершилось 218 млн лет назад. Полученная автором палеомагнитная возрастная модель магнитоактивного слоя Ямало-Пуровского палеоокеана позволяет оценить даже среднюю скорость его разрастания: длилось оно 17 млн лет, а ширина палеоокеана

на достигла 270 км, следовательно, средняя скорость спрединга составляла 1,6 см/год, что хорошо согласуется со средней скоростью разрастания дна современных океанов.

Но почему этот палеоокеан просуществовал так недолго? Главная причина, по мнению автора, глобальная: в период общего распада древнего континента Пангеи, происходившего в раннем триасе, начали раскрываться Атлантический и Тихий океаны; Русская и Сибирская платформы, а следовательно, и континентальные массивы, разобщенные Ямало-Пуровским палеоокеаном, стали быстро сближаться. В результате этих встречных движений и закрылся Ямало-Пуровский палеоокеан. Океанология. 1986. Т. XXVI. № 3. С. 467—473.

Вулканология

Вулканический пепел и зоны рудообразования

Рыхлые продукты вулканических извержений относятся к весьма мощным источникам рудного вещества в процессе формирования осадочных рудных месторождений. Но каким образом и в каких количествах рудные элементы отлагаются, накапливаются и мигрируют в зоны рудообразования, остается неясным. С целью выявить какие-либо закономерности Г. С. Шутова (Институт вулканологии ДВНЦ АН СССР) изучала особенности распределения двух рудных элементов — ванадия и меди — в пеплах, изверженных в 1972 г. вулканом Алайд (северная часть Курильской островной дуги). За время этого извержения, по данным Института вулканологии, общий объем вулканической массы составил 0,165 км³, при этом объем пепла превысил 0,1 км³; мощность пирокластического материала у подножия шлакового конуса достигала 4—5 м, а в радиусе 5 км уменьшилась до 5 см; на расстоянии 110 км

от центра извержения объем пепла составлял 25 г/м².

Пробы пепла отбирались в период извержения вулкана через определенные расстояния со всей площади пеплопада, а впоследствии, через 2 года, в тех же точках произвелись уточняющие наблюдения. После статистической обработки данных были составлены карты, позволявшие выявить отчетливое зональное распределение рудных элементов на всем поле пеплопада. От центра извержения к периферии содержание ванадия и меди постепенно снижается, но на этом общем фоне выделяются участки с повышенным их содержанием. Они располагаются вдоль основных направлений пеплопада, имеют разную форму, размер и ориентировку, отражающие характер движения пеплогазового шлейфа во время извержения. Вблизи его центра (т. е. под столбом пепла, который падал почти вертикально) линзовидные участки мелкие (0,5—0,7 км в длину), но содержат наибольшее количество рудных элементов. В направлении к периферии пепловый поток двигался почти горизонтально — линзы здесь встречаются реже, размер их больше (0,7—1,5 км), а ванадием и медью они значительно беднее. Сами же линзы ориентированы перпендикулярно общему направлению переноса пепла, что отражает турбулентный характер движения потока.

Подобную неравномерность в рассеивании рудных элементов могли обусловить, по мнению автора, несколько факторов: характер воздушного переноса твердых и газообразных продуктов; физические свойства облака (градиенты температуры и давления, электрические поля); абсорбция рудных элементов поверхностью твердых частиц пепла из окружающего газа. Таким образом, механизм распределения рудных элементов главным образом связан с последовательными изменениями физическими свойств возникшего над вулканом эруптивного облака как самостоятельного физического тела.

Вулканология и сейсмология. 1986. № 3. С. 12—29.

Землетрясение меняет состав лавы

Химический состав лавы, эпизодически изливающейся из долго остающегося активным вулкана, может со временем меняться. Геохимики обычно связывают это с явлениями, происходящими в недрах самого вулкана: вещества, находившиеся в различных частях магматической камеры, могут смешиваться; окружающие магматическую камеру породы могут «загрязнить» расплав. Иное объяснение предложил вулканолог Р. Тиллинг (R. Tilling; Геологическая служба США, Рестон, штат Вирджиния).

Анализируя состав лавовых потоков, отложившихся на склонах вулкана Мауна-Лоа (о. Гавайи), Р. Тиллинг с сотрудниками обнаружили весьма постепенное и медленное уменьшение в них концентрации некоторых химических элементов. Однако вслед за мощным землетрясением 1868 г. — самым сильным на Гавайских о-вах за все историческое время — содержание этих же элементов упало внезапно и резко¹. Особенно заметно это по снижению концентрации в этих лавах титана. Если исключить простое совпадение, то объяснить подобное изменение можно следующим. Вероятно, подземный толчок нарушил систему, проводящую магму из недр в верхний резервуар, где она обычно накапливается перед очередным извержением. Таким образом, лава, излившаяся сразу после землетрясения, отражает состав не той магмы, что «хранилась» в мелкозалегающем резервуаре, а той, что поступила непосредственно из мантии. Со временем этот магматический резервуар вновь пополняется. Однако, чтобы концентрация всех элементов вернулась к исходной, т. е. сложившейся к моменту сейсмических событий, необходимо время, исчисляющееся десятилетиями.

Выдвигая свою гипотезу, автор призывает геохимиков уделять большее внимание сейсмологическим и тектоническим

данным, без которых правильно судить о химических процессах, сопровождающих подготовку и извержение того или иного вулкана, невозможно.

Science News. 1986. Vol. 129. № 2. P. 25 (США).

Сейсмология

Мехико угрожают новые землетрясения

Специалисты продолжают изучать обстоятельства землетрясения, приведшего к катастрофическим разрушениям в крупнейшем городе мира — Мехико (население — около 17 млн человек) в сентябре 1985 г.¹ Известно, что его эпицентр находился в 400 км от мексиканской столицы, однако куда более близко расположенные к нему пункты пострадали незначительно, а в Мехико погибло не менее 2 тыс. жителей. Важной причиной такой географической избирательности сейсмических событий является то, что большая часть Мехико построена на мягком глинистом грунте осушенного озера. Результаты дальнейшего анализа этих событий были изложены М. Деггом (M. Degg; Ноттингемский университет, Великобритания) на годичной конференции Британской ассоциации развития науки в Бристоле в сентябре 1986 г.

Сопоставление сейсмических данных показало, что центральный район города, наиболее пострадавший от последнего землетрясения, почти полностью совпадает с районом максимальных разрушений в Мехико при аналогичных событиях 1957 г. Многие высотные дома построены здесь на свайных фундаментах, доведенных сквозь мягкие глины до глубины 40 м, где залегают два более плотных слоя, достигающих прочности коренных пород. Однако выяснилось, что именно

такие сооружения с наиболее глубокими основаниями чаще всего и подвергались разрушению.

Мощный слой мягких глин работал эффективным усилителем подземных толчков, причем глинистые почвы оказались наиболее отзывчивы на колебания с периодом около 2 с (частота — около 0,5 Гц), а это совпадает с собственной частотой колебания зданий высотой от 9 до 20 этажей (в наибольшей степени резонировали девяти — одиннадцатизэтажные дома). Интенсивность резонансных колебаний на глинистой почве древнего озера в 6 раз превышала зарегистрированную в холмистой местности, окружающей Мехико; продолжительность толчков также оказалась в 5 раз большей. Здания высотой в 12 этажей и выше имеют больший период колебаний и сотрясались в умеренной степени. Наблюдалась парадоксальная ситуация: высокие сооружения с мелкозалегающим фундаментом, как правило, пережили катастрофу, а многие здания средней высоты, но с глубоким основанием, обрушились.

Современные методы сейсмостойкого строительства оказались не во всем эффективными. Насчитывающие многие десятилетия каменные и даже кирпичные дома выстояли, а соседствующие с ними железобетонные здания с их большой гибкостью пострадали очень сильно.

Геофизические данные свидетельствуют, что тектоническая обстановка в центральном-западном регионе Мексики остается опасной. Здесь проходит полоса разломов земной коры с довольно длительным периодом «сейсмического молчания»; в этой зоне напряжения возрастают уже в течение нескольких десятилетий. Лишь на некоторых отрезках этой полосы разряда произошла при землетрясениях 1957 и 1985 гг. По мнению М. Дегга, новые толчки в данном регионе можно ожидать в недалеком будущем, причем разрушения как в Мехико, так и в соседних городах вновь могут быть значительными

¹ См.: Изучается Мексиканское землетрясение // Природа. 1986. № 5. С. 118

New Scientist. 1986. Vol. 111. № 1524. P. 24. (Великобритания).

ВАЖНЕЙШИЙ БИОСТРАТИГРАФИЧЕСКИЙ РУБЕЖ

И. Н. Крылов,
доктор геолого-минералогических наук
Москва

ОКОЛО 600 млн лет назад (точнее, 570 ± 50 млн лет) произошло одно из ярчайших событий в истории органического мира нашей планеты — живые существа, принадлежащие к самым разным группам, обрели возможность строить скелетные образования. Возникли и внутренние скелеты — опора для мягких тканей, и внешние — панцири, раковины и домики; появились зубы у хищников и защитные образования у их жертв. Даже растения (а в то время еще не было наземной флоры, существовали только водоросли), — даже растения обзавелись плотными чехлами — трубочками вокруг нитей.

Время, когда на Земле появились первые скелетные организмы, начало кембрийского периода палеозойской эры, сейчас принято, с легкой руки В. В. Меннера и Н. А. Штрейса, называть величайшим биостратиграфическим рубежом в истории Земли. Этот рубеж разделил земную историю на две неравновеликие части — докембрий, или криптозой (т. е. время скрытой жизни), длительностью более 3 млрд лет, и на сменивший его фанерозой (время явной жизни), в пять раз более короткий отрезок времени от начала кембрия до наших дней.

До последнего времени все курсы палеонтологии касались только фанерозоя. Какая же может быть палеонтология, если еще не существовало ее основных объектов — раковин, костей и других твердых остат-

ков? Конечно, исследователи понимали, что у фанерозойского органического мира должны были быть какие-то истоки в прошлом, и даже рисовали на схемах эволюции робкие пунктирные корешки, упоминая о загадочных докембрийских остатках — криптозоонах, эозоонах, карелозоонах и других. Но истинную палеонтологию начинали с кембрия, совмещая его с началом фанерозоя.

Сейчас положение изменилось. Известно уже много тысяч находок органических остатков в докембрии, и самым древним из них по меньшей мере 3,5 млрд лет, описаны сотни видов и родов докембрийских организмов, а палеонтология докембрия и палеобиология докембрия получили, как говорится, все права гражданства¹.

И все же граница кембрия и докембрия действительно производит внушительное впечатление. Мне доводилось видеть ее во многих разрезах. Мощные толщи, многие сотни и тысячи метров осадочных пород — и ни одной косточки или раковинки. Только в самых верхах, если очень повезет, можно найти редкие тоненькие и маленькие известковые трубочки — домики каких-то животных. И вдруг сразу, словно из рога изобилия или из мешка фокусника, появляются разнообразнейшие скелетные остатки. Если осторожно растворить в слабой кислоте кусок известня-

ка из древнейших кембрийских слоев, на дно стакана оседают порой многие десятки, а то и сотни остатков, разнообразных и по форме, и по составу: карбонатные, кремневые, фосфатные, хитиновые. Даже у естествоиспытателей, далеких от идей «божественного творения», возникал вопрос: да может ли такое быть? И первая реакция нередко выглядела так:

— Нет, такого быть просто не может. Это слишком похоже на катастрофу, а катастрофизм, как известно, наукой отвергнут. У одних организмов — внутренний скелет, у других — наружная раковина. Совсем разная природа. И уровень биологической организации совсем разный. Как же такое могло произойти одновременно? Не могло!

И в фундаментальном труде, вышедшем двадцать лет назад, есть такие строки: «При определении нижней границы кембрия принимается, что указанный выше комплекс скелетных организмов появился более или менее одновременно. Но это положение может быть принято только условно. Наоборот, соображения теоретического порядка подсказывают, что скелетные организмы не могли появиться в разных точках земного шара одновременно...»²

На самом деле границы всех систем принято проводить по одновременному появлению новых характерных ассоциаций животных и растений. Но поскольку «соображения теоретического порядка» вроде бы отвергали такую возможность для кембрия, то его нижнюю границу пытались проводить по каким-то признакам, не связанным непосредственно с органическими остатками, например по следам перерывов в осадконакоплении (говорили о «великой

Подробнее см.: Крылов И. Н. Древнейшие следы жизни // Природа. 1985. № 9. С. 68—76.

¹ Стратиграфия СССР. М., 1965. Т. 3. Кембрийская система. С. 13.

А. Ю. РОЗАНОВ
ЧТО ПРОИЗОШЛО
600 МИЛЛИОНОВ
ЛЕТ НАЗАД



А. Ю. Розанов. ЧТО ПРОИЗОШЛО 600 МИЛЛИОНОВ ЛЕТ НАЗАД / Отв. ред. Б. С. Соколов. М.: Наука, сер. «От молекулы до организма», 1986. 96 с.

По инициативе советских академиков В. В. Меннера и Б. С. Соколова и австралийского профессора М. Глесснера в 1972 г. (через десять лет после начала работ и после проверки правильности полученных выводов на всей территории нашей страны) была создана Международная рабочая группа по границе кембрия и докембрия, которая проверила и подтвердила эти выводы на материале со всех континентов. Сейчас вопрос сводится только к тому, чтобы определить, где, в каком месте вбить так называемый «золотой гвоздь», отметив реперную точку, от которой геологи мира будут вести отсчет фанерозойским отложениям. После предварительных проверок таких точек осталось всего три: в бассейне реки Лены, в Китае или на Ньюфаундленде. «Суд Париса» еще не состоялся.

Краткому рассказу об этих проблемах и посвящено введение рецензируемой книги. В последующих главах очень коротко говорится о докембрийском этапе земной истории с более подробным описанием

кембрийской трансгрессии») или по следам ледников («великое оледенение»). Авторы этих предложений мало смущало то обстоятельство, что трансгрессии никогда не бывают мгновенными и следы их в разных районах заведомо разновозрастны. Еще сложнее обстоит дело с оледенениями. Перед кембрием было не менее четырех ледниковых эпох³, и в каждой из них могло быть по несколько фаз оледенений³. На ледниковых породах (тиллитах) нет этикеток, к какому именно оледенению они относятся, и, проводя по ним границу, мы рискуем ошибиться на десятки, а то и на сотни миллионов лет. К тому же во многих регионах, например в Сибири, следы предкембрийских оледенений вообще не обнаружены. Но даже возможность таких ошибок казалась некоторым исследователям более приемлемой, чем признание крамольной мысли об удивительной кратковременной эпохе всеобщей «раздачи скелетов».

Автор рецензируемой книги доктор геолого-минералогических наук А. Ю. Розанов в начале 1960-х годов возглавил группу энтузиастов, решивших выяснить, что же все-таки произошло вблизи нижней границы кембрия. Потребовалось несколько лет напряженного труда и большая смелость молодых («совсем молодых» — отмечает автор на с. 5) исследователей, чтобы объяснить: проблема нижней границы кембрия может быть решена только на палеонтологической, биостратиграфической основе. В нижней части кембрия был выделен особый — томмотский — ярус, охарактеризованный древнейшей скелетной фауной, появившейся практически одновременно на всей планете.

См. подробнее: Чумаков Н. М. Какой климат типичен для Земли? // Природа. 1986. № 10. С. 34—46.

удивительного животного мира самого последнего предкембрийского этапа — так называемой эдиакарской, или вендской, биоты. Об эдиакарской фауне неоднократно писал наш журнал, и я не хочу повторяться¹. Отмечу только, что перед кембрием на Земле существовал разнообразный и удивительный мир животных, населявших моря и относившихся к разным типам, но имевших важную особенность: у них не было никакого скелета. Тут хотелось бы вспомнить слова Глесснера, сказанные в 1975 г.: «Это было поистине райское время в истории Земли: все ходило голыми, и никто никого не ел».

Большинство эдиакарских (вендских) животных вымерло вблизи границы кембрия, не оставив в фанерозое прямых потомков, но их разнообразие позволяет уверенно утверждать, что в кембрии не было никакого «творения» органического мира. Появление скелетных кембрийских животных, как справедливо утверждает автор на с. 92, отражало «сочетание, возможно достаточно уникальное, подготовленности самого органического мира к возможности построения скелетов и подготовленности всей окружающей обстановки для «спровоцирования» и «разрешения» скелетообразования».

Уже в нижнем кембрии в изобилии присутствуют привычные для палеонтологов остатки моллюсков, брахиопод, губок — словом, представителей почти всех типов известного науке органического мира. Пе-

¹ Семитатова Н. Б. Международная встреча геологов-докембристов // Природа. 1976. № 6. С. 21—26; Федонкин М. А. Крупнейшее местонахождение докембрийской фауны // Природа. 1981. № 5. С. 94—103; Соколов Б. С. Вендский период в истории Земли // Природа. 1984. № 12. С. 3—19.

речисление их в рецензии вряд ли имеет смысл; написана эта часть, хотя и кратко, но четко, легко, сопровождается хорошими иллюстрациями. Конечно, хотелось бы видеть изображений побольше, но нельзя же превратить небольшую популярную книгу в палеонтологический атлас. Описания сопровождаются размышлениями о природе этих остатков, причем автор подчеркивает дискуссионность многих соображений на этот счет, знакомит с историей и с современным положением проблемы. Еще одна особенность книги: автор не только справедливо указывает на приоритет советских исследователей, и прежде всего В. В. Миссаржевского, в открытии и изучении многих из этих остатков, но и наглядно показывает, какую важную роль играет тесное международное сотрудничество ученых из доброго десятка стран в успешном и быстром решении сложнейших вопросов, связанных с границей кембрия и докембрия.

Охарактеризовав органический мир раннего кембрия, автор переходит к описанию обстановки тех далеких времен, приводя палеогеографические, палеоклиматические, палеотемпературные данные, и завершает книгу разделом «Биогеография». Чтобы понять, насколько сложны проблемы палеобиогеографии, достаточно вспомнить о теории дрейфа континентов. Как восстановить географическую карту времен, отстоящих от наших дней более чем вдвое по сравнению со временем, когда существовал загадочный гигантский материк Гондвана? Не буду пересказывать выводы и аргументы автора. Скажу только, что следить за ходом его рассуждений — дело достаточно увлекательное.

Почему же все-таки различные группы организмов получили возможность строить скелет, как это могло произойти? В книге добросовестно перечислены все группы гипотез, высказывавшихся по этому поводу.

Одна из таких групп связывает появление скелетов у земных существ с внеземными космическими событиями, ко-

торые привели к определенным образом направленным мутациям. Есть группа «экологических» гипотез. Например, возникновение скелетов, и прежде всего раковин, у мягкотелых существ объясняется появлением неких хищников (следов присутствия которых пока не обнаружено).

Но большая часть гипотез связывает появление скелетных образований с изменениями химизма окружающей среды. Это могло быть уменьшение содержания углекислого газа, перенасыщенность морской воды хлором, увеличение содержания кислорода и т. д. Популярна идея об изменении соотношения кальция и магния в морской воде. В книге приводится краткое сравнение докембрийских и кембрийских осадков, отмечаются различия пород, которые могут свидетельствовать о различиях в условиях их образования. Рубеж кембрия и докембрия во всем мире характеризуется повышенным накоплением фосфоритов (достаточно вспомнить крупнейшее месторождение Каратау в Казахстане). Это была поистине «фосфоритовая эпоха», захватывающая поздний венд и ранний кембрий. В раннем кембрии происходило осаждение мощных толщ каменной соли.

Перечислив все эти данные, А. Ю. Розанов делает заключение, что «общее изменение химизма бассейнов осадконакопления несомненно должно было сказаться на изменении метаболизма у многих организмов» (с. 87). Но каким образом? Очень хотелось бы видеть разбор таких возможностей с позиций современной биологии. Это тем более заманчиво, что раньше А. Ю. Розанов был активным сторонником «химикомутационных» гипотез. Будем надеяться, что эта тема зарезервирована им для отдельной работы.

Книга интересна смелым изложением разнообразных (в том числе и совсем «сумасшедших») гипотез и идей, касающихся взглядов на историю органического мира докембрия. Так, на с. 14 приводятся весьма

спорные, но интересные, будоражащие мысль данные З. Валенчака о возможных находках разнообразных, достаточно высоко организованных организмов в архее, а на с. 15 с большим сочувствием говорится о находках А. М. Лейтесом в породах возрастом более 1,5 млрд лет загадочных трубочек — удоканий. По мнению А. Ю. Розанова, это может означать, «что первые попытки строить скелет были осуществлены еще 1—1,5 миллиардов лет назад (непонятно, почему взяты эти цифры, когда удокании древнее 1,5 млрд лет.— И.К.), но не были столь удачными, чтобы дать серьезный толчок развитию скелетной фауны» (с. 87).

История появления высокоорганизованных земных организмов неотделима от проблемы эволюции атмосферы и от накопления в ней свободного кислорода. Сколько-нибудь сложные организмы-эвкарियोты могли появиться и существовать только при наличии достаточного количества кислорода в воздухе. А. Ю. Розанов подробно излагает идеи В. И. Виноградова и других исследователей, которые сводятся к тому, что уже в архее свободного кислорода могло быть довольно много, и даже, возможно, не меньше, чем сейчас. Заметим, к слову, что подобные идеи высказывал и В. И. Вернадский. Но предлагая на с. 13 свою версию относительно накопления кислорода в атмосфере, А. Ю. Розанов почему-то упоминает только о гипотезе Беркнера — Маршалла более чем двадцатилетней давности, ничего не говоря о более новых, и, к слову, скажем, более смелых, чем у него самого, идеях М. Шидловски и П. Клауда. Так, Клауд помещает «точку Пастера» (1% современного содержания кислорода) на уровень 2,2—2,5 млрд лет, а Шидловски относит ее к гораздо более ранним этапам земной истории.

В рецензиях не принято писать о том, чего нет, но хотелось бы видеть в книге. И все же не могу удержаться. В ряду «ошеломляющих фактов» можно было бы упомянуть об опи-

санных Х. Пфлюгом спорных загадочных остатках — исуаферах из древнейших осадочных пород с возрастом до 3,8 млрд лет. Согласно данным Пфлюга, древнейшими известными на Земле существами могут оказаться не безъядерные простейшие прокариоты, а достаточно сложные существа, похожие на дрожжевые грибки. Эти данные были встречены, мягко скажем, без энтузиазма, но настоящего опровержения, кроме призывов к осторожности, так и не последовало. Можно было бы упомянуть и о находках в породах с возрастом 2 млрд лет зоострионов — микроскопических существ, близких к современным микроорганизмам металлогенумам. Если такое сравнение верно (а в этом все исследователи единодушны), то уже два миллиарда лет назад содержание кислорода в атмосфере было близко к современному.

Говоря о возрасте нижней границы кембрия, А. Ю. Розанов затрагивает открытый вопрос о точности цифр так называемого «абсолютного возраста» — датировок пород по радиоактивному изотопам. Успехи физики вызывают у многих геологов какое-то почти мистическое поклонение «абсолютным» цифрам. Предлагалось даже вообще отказаться от каких-либо названий для докембрия, в том числе от архея и протерозоя, и опираться только на изотопные датировки. Но вот есть конкретное, четко узнаваемое событие. Как же оно датируется изотопными методами? Разброс датировок достигает почти ста миллионов лет! И автор книги, и рецензент совсем не хотят злорадствовать по поводу трудностей коллег из смежной области науки. Просто сопоставления возможностей и точности биостратиграфических и изотопных методов пока демонстрирует преимущество первых перед вторыми.

Безусловно, книга А. Ю. Розанова представляет большой интерес для всех, кто интересуется историей органического мира нашей планеты.

Физика

В. В. Белокуров, Д. В. Ширков. ТЕОРИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ. М.: Наука, сер. «Проблемы науки и технического прогресса», 1986. 160 с. Ц. 85 к.

Физика элементарных частиц изучает закономерности, присущие материи на расстояниях порядка или меньше размеров атомного ядра — 10^{-13} см. Разгонять частицы в ускорителях до очень больших энергий и затем сталкивать их — таков основной экспериментальный метод изучения столь малых расстояний. Регистрируя продукты столкновения частиц, их физические характеристики, физики получают обширную информацию о структуре и свойствах самих частиц и специфике их взаимодействий. Для описания динамики частиц, процессов, происходящих между ними, создан мощный теоретический аппарат — квантовая теория поля. Изложение развития и современного состояния квантовой теории поля — этого наиболее абстрактного и математизированного раздела современной физики — посвящена настоящая книга. Она возникла из лекций, прочитанных одним из авторов (Д. В. Ширковым), в ряде университетов страны для широкой физической аудитории.

Авторы ставят перед собой задачу охватить, на первый взгляд, почти необъятную тему, а именно: рассказать о становлении и развитии исторически первой квантовой теории поля (квантовой электродинамики), о трудностях, ей присущих, и методах их преодоления (теория перенормировок); дать понятие симметрий и группы преобразований; изложить объединенную теорию электрослабых взаимодействий и основы квантовой хромодинамики, объектом которой являются частицы, подверженные

сильному (ядерному) взаимодействию; и наконец, дать представление о новейших идеях и методах теории элементарных частиц и т. д. Однако с этой труднейшей задачей авторы справились, сумев отобрать из уже достаточно длинной и богатой событиями истории элементарных частиц лишь главные, ключевые моменты ее развития, необходимые для понимания ее современного состояния. Читатели получили возможность еще раз заглянуть в мир элементарных частиц, причем под несколько иным углом зрения, нежели это принято в довольно обширной научно-популярной литературе, посвященной описанию микромира. В тексте использованы математические понятия и формулы, но их число сведено к минимуму.

Геохимия

Л. М. Зорькин, М. И. Суббота, Е. В. Стадник. МЕТАН В НАШЕЙ ЖИЗНИ. М.: Недра, 1986. 151 с. Ц. 25 к.

Метан — основной компонент природных горючих газов, важный источник энергии и ценное химическое сырье. Как горючее он намного дешевле угля и сланцев, и его легче транспортировать из районов добычи к потребителям. Есть еще одно преимущество, и немаловажное: метан меньше загрязняет окружающую среду. Повсеместное применение метана — и в народном хозяйстве, и в быту — стало своеобразным признаком современной цивилизации.

Рассказав об образовании метана и охарактеризовав его крупнейшие месторождения на территории нашей страны, автор описывает современные способы поисков залежей этого газа. Читатель знакомится с особенностями газового промысла,

с транспортировкой метана по газопроводам и проблемой «складирования» газа в подземных хранилищах.

Биология

Н. К. Верещагин. ЗООЛОГИЧЕСКИЕ ПУТЕШЕСТВИЯ. Отв. ред. В. Е. Соколов. Л.: Наука, сер. «Человек и окружающая среда», 1986. 200 с. Ц. 35 к.

К концу 1920-х годов, рассказывает автор, инвалютные поступления в нашу страну от продажи пушнины превышали доходы от других видов экспорта. Пушнина — мягкое золото — создавала материальное обеспечение для индустриализации страны. Экономика пушного дела требовала больше внимания, новых научных сил и методов. Начались работы по акклиматизации промысловых зверей, в частности ондатры и нерпы.

В этот период вошел в науку ныне известный зоолог и палеонтолог, а тогда молодой энтузиаст Николай Кузьмич Верещагин, выпускник московского Зоотехнического института. Можно считать, что профессия у него была потомственная (своего деда Н. В. Верещагина автор называет создателем культурного молочного хозяйства России). С детства в библиотеке отца его окружали тома «старого» Брема и такие книги, как «Русский зоопромысловый парк». Не прошли бесследно и встречи с зоологами — друзьями отца, которые приезжали гостить и охотиться в деревню Петровку на Шекене, где родился и вырос автор.

В 1929 г. Н. К. Верещагин принял предложение поступить в штат научно-исследовательской станции при Пушкинском зверосовхозе, где создавались опытные фермы для разведения ондатры и нутрии. На этом, казалось бы, заканчивается

биографическая часть книги. Дальше речь идет по преимуществу о путешествиях по северу Тобольской области, в пойме Сырдарьи, по Азербайджану, Киргизии и другим местам с целью поисков наиболее благоприятных мест для расселения ценных зверей; о технических трудностях работы, первых результатах опытов акклиматизации и дискуссиях вокруг них. Однако и эта часть носит на себе отпечаток мемуарности и окрашена личным отношением автора к описываемым событиям.

Но едва ли не самое притягательное в книге — это природа и животный мир, о котором Н. К. Верещагин рассказывает по-особому умело — так, как еще недавно было в обычае у ученых-натуралистов. За все это читатель легко простит автору некоторую разбросанность повествования.

Искусствознание. Науковедение

И. Ш. Шевелев. ПРИНЦИП ПРОПОРЦИИ: О ФОРМОБРАЗОВАНИИ В ПРИРОДЕ, МЕРНОЙ ТРОСТИ ДРЕВНЕГО ЗОДЧЕГО, АРХИТЕКТУРНОМ ОБРАЗЕ, ДВОЙНОМ КВАДРАТЕ И ВЗАИМОПРОНИКАЮЩИХ ПОДОБИЯХ. М.: Стройиздат, 1986. 200 с. Ц. 1 р. 60 к.

Архитектор, проектирующий здание, скульптор, ваяющий человеческую фигуру, художник, пишущий натюрморт, дизайнер, ищущий облик интерьерера, модельер, рисующий силуэт костюма, в равной мере заняты поисками гармонии линий, цвета и пространственной структуры.

В новой монографии архитектора и реставратора И. Ш. Шевелева рассматривается происхождение общего для науки и искусства «языка естест-

венной гармонии», языка «начала начал», как считали древние, — пропорции.

Какая, на первый взгляд, связь может существовать между спиральной раковиной моллюска, готическим собором и формой черепа позвоночных? Оказывается, что они описываются универсальными числовыми пропорциями. Например, три фаланги среднего пальца кисти руки образуют триаду золотого сечения, и этим же отношением связаны расстояния от пупка до макушки и пят. Примеры можно множить до бесконечности...

Автор глубоко обсуждает вопросы, почему в формах живой природы так распространены гармонические пропорции, в том числе отношение золотого сечения — классического эталона гармонии в искусстве, в чем его физический и биологический смысл, какова его связь с фундаментальными законами природы. Вопросы эти не простые, но внимательный читатель будет вознагражден пониманием того, как соразмерность человеческого тела воплотилась в поразительном спокойствии и строгой уравновешенности древнегреческого Парфенона, в египетских пирамидах и древнерусской архитектуре, как пропорции «Венеры» Боттичелли или «Давида» Верроккьо вторят гармоническому ладу вибрирующей струны.

Книга иллюстрирована многочисленными рисунками и чертежами, помогающими не терять в полифонии привлекаемого материала центральную тему — принцип пропорции.

ОТСВЕТ ЛИЧНОСТИ

Р. К. Баландин
Москва

Мне иногда кажется, что не только за себя, но и за него я должен работать, что не только моя, но и его жизнь останется даром прожитой, если я ничего не сделаю.

В. И. Вернадский

СЛОВА, приведенные в эпиграфе, сказаны о Евграфе Максимовиче Короленко (1810—1880). Что же это был за человек, чью жизнь так прочно связал со своей Владимир Иванович Вернадский? Личность человека, включая, естественно, и склад его мышления, формируется в детстве и юности. И Вернадский, вспоминая об этой поре, признавался: «Самыми светлыми минутами представляются мне в это время те книги и мысли, какие ими вызывались, и разговоры с отцом и моим двоюродным дядей Е. М. Короленко...»¹

Что касается книг — то тут разговор особый, заслуживающий специального исследования. Ведь многие из идей, которые в зрелые годы развивал и научно обосновывал Владимир Иванович, впервые осознал он именно благодаря детскому и юношескому чтению, прежде всего географической литературы, а также некоторых научно-популярных (общедоступных, как выражались тогда) книг.

Об отце Вернадского, Иване Васильевиче, достаточно хорошо известно: был он видным политэкономом, публицистом, занимался журналистикой и издательской деятельностью.

А вот Евграф Максимович Короленко — лицо не знаменитое. Лишь благодаря Владимиру Ивановичу мы имеем возможность познакомиться с рукописями Евграфа Максимовича, многие десятилетия хранившиеся в архиве Вернадского, а затем — в Архиве АН СССР. Ряд его статей опубликован в «Экономическом указателе», издававшемся отцом Вернадского.

Вспоминая свое детство, Вернадский писал жене: «Особенно сильное развивающее влияние на меня в это время имели разговоры со стариком дядей Короленко. Это был оригинальный и довольно сильный человек. Самолюбивый, в высшей степени остроумный и обидчивый, он в то же время был человеком глубокой доброты... Был человеком хорошо образованным, хотя образование себе сам добыл... Он был самых либеральных убеждений, но в то же самое время был эгоистом и *bon vivant* (здесь: жизнелюб.— Р.Б.), и я помню, как он говорил,

что никак не понимает, как можно было давать сжигать себя, как хотя бы Гус или Джордано Бруно. Он ставил обыкновенно в пример Вольтера и признавался, что если бы к нему пристали попы, он двадцать раз перещелует крест, а не даст себя сжарить. Попов он не любил от глубины души. Глубоко уважал Фурье и Сен-Симона, но считал это все очень далеким, недоступным...

Вспоминаются мне темные, зимние, звездные вечера. Перед сном он любил гулять, и я, когда мог, всегда ходил с ним. Я любил всегда небо, звезды, особенно Млечный Путь поражал меня, и в эти вечера я любил слушать, когда он мне о них рассказывал, я долго после не мог успокоиться; в моей фантазии бродили кометы через бесконечное мировое пространство; падающие звезды оживались; я не мирился с безжизненностью Луны и населял ее целым роем существ, созданных моим воображением. Такое огромное влияние имели эти простые рассказы на меня, что мне кажется, что и ныне я не свободен от них...»¹

Что же в «простых рассказах» Е. М. Короленко могло особенно увлечь маленького гимназиста Владимира Вернадского — внешне спокойного, улыбающегося, но жившего уже напряженными духовными исканиями? Что из убеждений Евграфа Максимовича и его представлений о мироздании смогло проявиться через несколько десятилетий после его смерти в творчестве Вернадского?

Е. М. Короленко был горячим, убежденным патриотом России и славянства. Об этом, в частности, можно судить по его единственной книге, изданной в год рождения Вернадского: «По поводу свежих событий в Польше». В ней Е. М. Ко-

¹ Страницы автобиографии В. И. Вернадского. М., 1981. С. 17.

¹ Там же. С. 18—19.



Евграф Максимович Короленко (1810—1880).



Владимир Иванович Вернадский в гимназические годы.

роленко — противник самодержавия, демократ и либерал — пытается проанализировать идеалы, методы и возможные результаты восстания польских патриотов (так в книге названы повстанцы). «Оставаться равнодушным зрителем ожесточенной борьбы единокровных народов, братьев, всеми элементами своей природы показывающих принадлежность их к одной великой семье, не может ни один мыслящий человек... Сражаться, умирать за идею отечества — не учиться стать ни поляку, ни русскому»¹.

Уважением к восставшим и болью за кровавую междоусобицу проникнуто все сочинение. Но, по мнению Е. М. Короленко, единство славян должно проявляться сильнее, чем любые политические или рели-

гиозные распри. В эпилоге книги, не удовлетворяясь рассудительной прозой, он даже переходит на энергичные эмоциональные стихи:

Кому славянские народы
Вперед вести дано Судьбой,
По силе нравственной природы,
С невежеством, со злом на бой?

На вопрос он отвечает: русскому народу (заметим: Е. М. Короленко был малороссом). Не потому, конечно, что он велик человеческой массой. Е. М. Короленко видел в русском народе высокую нравственность, уважение к инакомыслящим, терпимость, жажду просвещения. (Право поляков на самостоятельность он не оспаривает, но возражает против желания любой народности господствовать там, где она находится в меньшинстве.)

По-видимому, эти взгляды

и убеждения Е. М. Короленко невольно воспринял юный Владимир Вернадский, который всю свою жизнь оставался горячим патриотом России и славянства. Именно поэтому он, не сразу и не во всем принявший Октябрьскую революцию, тем не менее смог верно оценить бесперспективность белогвардейского движения, неизбежность победы большевиков; он не согласился стать эмигрантом и активно включился в социалистическое строительство, став крупнейшим организатором науки в нашей стране.

Но, конечно, Евграф Максимович более всего был способен влиять на юношу как цельная, оригинальная и сильная личность. Об этом свидетельствует и другой его двоюродный племянник — писатель Владимир Галактионович Короленко. В «Истории моего современника» В. Г. Короленко запечатлел образ своего дяди Евграфа Максимовича, которому в ту пору

¹ Короленко Е. М. По поводу свежих событий в Польше. СПб, 1863. С. 4.

было около семидесяти лет: «Старик... с молочно-белой бородой и волосами, в рамке которых выделялось полнокровное нервное лицо с живыми глазами... Говорил он нервно, быстро, возбужденно и часто красиво ... вел строгий образ жизни, интересовался всеми вопросами современности. Благоговел перед декабристами, ненавидел Наполеона III, преклонялся перед Руссо и энциклопедистами, цитировал Монтескье, был радикал и республиканец»⁴. «Горячился он всегда, особенно во время споров... Старик был очень интересен, умен и оригинален, но спорить с ним и даже выражать при нем несогласное мнение было невозможно...»⁵ «Его молодые глаза метали молнии, седые усы становились торчком, а лицо наливалось краской...»⁶ Но несмотря на вспыльчивость и горячность, он был отходчив и добродушен.

Евграф Максимович много читал, интересовался разными вопросами естествознания, а более всего — «вечными вопросами» сути бытия, тайны жизни и смерти, единства мироздания и величия человеческого познания. По своей искренней увлеченности поисками истины он не мог не увлечь этим и любознательного гимназиста Владимира Вернадского. Во взглядах Евграфа Максимова очень характерен примат гуманистических идей, человечности, вне которой он не признавал истинного образования. Вот как высказывается он по этому поводу:

«Присматриваясь в продолжение долгой жизни к разным кругам человеческих обществ, я пришел к убеждению, что хотя человечество давно живет, а право, не далеко ушло

от того состояния, в котором его застал потоп... Точно, будто образование состоит в том, чтобы надвить свою голову разными учебными дрызгами, которые бы не оставили в ней места для разумного взгляда на жизнь. Такого рода образование, часто фактическое, не осмысленное гуманностью...» он с негодованием отвергает. «Сделаться добрым, убить в себе прирожденный человеку эгоизм — единственная цель образования! Мерилом образования, как людей в частности, так в особенности народов, может быть только одно — их гуманность»⁷. Иначе говоря, он призывает к гуманизации познания и обучения. Подобным взглядам и Вернадский был верен всю свою жизнь, оставив их в наследство грядущим поколениям.

Но еще более очевидно и в то же время неожиданно, даже удивительно созвучие идей Е. М. Короленко с научными разработками Вернадского. Это прежде всего относится к учению о биосфере и геологической деятельности живого вещества. В архиве Владимира Ивановича хранятся заметки Е. М. Короленко «Перемещение материалов Земли». Вот выдержка оттуда:

«Весь органический мир земли работает над перемещением материалов неорганического мира. В этой общей работе участвует все живое, проходящее через все три царства природы — растений, протистов и животных. Громадные результаты работ, происходящих в лабораториях организмов первых двух царств, где перемещение вещества совершается посредством питания бесчисленного множества организмов во время их жизни и разложения после их смерти. Но в особенности деятельно

участие принимает в этом перемещении неорганических веществ животный мир, начиная с самых мельчайших микроорганических существ до человека включительно»⁸. Развивая эти мысли, он приводит сведения, почерпнутые из работ К. Линнея, Р. Оуэна и А. Левенгука: три мухи (если учитывать скорость их размножения) могут съесть лошадь быстрее, чем лев, а одна травяная вошь в десятом колене произведет миллиард миллиардов детенышей.

Тот, кто знаком с учением Вернадского о биосфере, безусловно согласится, что приведенные выше идеи Е. М. Короленко и в общем, и в некоторых частностях превосходят его. Вряд ли тут можно говорить о случайном совпадении. Тем более, что эти записи относятся к годам активного общения их автора с Владимиром Вернадским.

Интересно, что и в некоторых других частностях геологические взгляды дилетанта в этой области Е. М. Короленко совпадают с взглядами геолога Вернадского. Так, Евграф Максимович возражает против гипотезы первоначально жидкой огненной Земли и объяснения вулканизма действием «внутренних сил» планеты, центрального огня. Вода, по его мнению, проникает в земные недра, растворяет минеральные вещества и создает газы, которые «под гнетом страшной тяжести лежащих на них слоев» и высоких температур вырываются на поверхность; вода с погружением в глубины Земли переходит в пар, затем разлагается на водород и кислород...

Подобные «нептунические» взгляды, если не вдаваться в детали, совершенно точно соответствуют воззрениям Вернадского, в частности его пред-

⁴ Короленко В. Г. История моего современника. М., 1965. С. 917.

⁵ Там же. С. 463.

⁶ Там же. С. 917.

⁷ Короленко Е. М. Цит. соч. С. 41—42.

⁸ Архив АН СССР. Ф. 518. Оп. 5. № 74.

ставлению о роли подземных вод и «газового дыхания» в жизни планеты. Е. М. Короленко в своих размышлениях легко переступал грань эмпирических научных знаний и фантазировал, воображая Землю живым организмом (так называется один раздел его рукописи). Однако и в этом образе есть значительная доля истины, потому что речь идет об активном обмене веществ, постоянных круговоротах веществ на планете. Об этом, уже с позиций минералогии, а позже геохимии, много и плодотворно писал Владимир Иванович.

Обратим внимание на еще одно замечание Е. М. Короленко: «Человек, находясь на Земле, придает ей искусственным образом силы, которых она не имеет вследствие одних лишь естественных законов...»⁹ Иначе говоря, человеческий разум и труд являются могучей и своеобразной геологической силой. Именно такое положение развивал В. И. Вернадский своим учением о преобразовании человеком биосферы в ноосферу.

Наконец, надо упомянуть слова Е. М. Короленко, по сути своей предвещающие идеи, которые через полвека будет развивать Вернадский: «Солнечные лучи вечно борются за жизнь Земли с мертвящей стужей мирового пространства, приводя в действие физические и химические процессы на планете...»¹⁰

Да, конечно, многие из мыслей своих Е. М. Короленко воспринял из прочитанных книг, а также из научно-популярных пересказов и фантастических сочинений, которые в немалом количестве публиковались в ту пору на русском языке (скажем, представления о мировом разуме и разумных существах, обитающих на других планетах, он

почерпнул из К. Фламариона). Но ведь он сумел выбрать из массы разнородных фактов и мыслей те, которые оказались плодотворными, перспективными. И так уж случилось, что он делился своими мыслями с жадно впитывавшим их юным Владимиром Вернадским.

А вот богоискательство Е. М. Короленко, пытавшегося соединить идею бога с научными представлениями о мироздании (одна из его заметок — «Бог естествоиспытателя»), а также о мировом разуме, господствующем во Вселенной, не нашло продолжения в научном творчестве Вернадского. Возможно, это произошло потому, что Вернадский в своих научных исследованиях придавал первостепенное значение эмпирическим обобщениям, избегая удаляться в миры фантастических гипотез (в отличие, скажем, от К. Э. Циолковского, которого вдохновляли идеи о «неизвестных разумных силах» космоса).

Когда знакомишься с рукописями Е. М. Короленко, глядясья в его почерк — достаточно ровный и красивый, пожалуй, даже элегантный, округленный, хотя подчас и не вполне разборчивый, то вполне соглашаешься с мнением, что «старик был очень интересен, умен и оригинален». Это был самобытный и колоритный русский интеллигент середины XIX в., увлеченный и самоотверженный искатель истины, незаурядный мыслитель.

Но для самодеятельного философа Е. М. Короленко была характерна «вольная» манера познания природы и человека, переходящая порой в научную фантастику или венауучное богоискательство. Не уводило ли это будущего ученого в сторону от научного метода?

Нет, вряд ли ошибался Владимир Иванович, утверждая, что подобные беседы имели огромное влияние на него, сохранившееся даже в зрелые годы.

Наука — это не только факты, описания, обобщения, эксперименты, строго логические рассуждения. Даже не слишком умный человек, обладающий хорошей памятью и наученный логично рассуждать, может преуспеть в собирании, обобщении, классификации фактов. Но ему никогда не удастся добыть новое знание, предложить неожиданную и плодотворную идею, сделать значительное научное открытие. Одно из обязательных слагаемых научного гения — фантазия, воображение, смелость мысли в напряженных поисках истины.

В беседах с Евграфом Максимовичем Владимир Вернадский не только упражнялся в фантазировании, свободном полете мысли. Он учился видеть, замечать в обычном неведомом, размышлять о грандиозности и гармонии мироздания, о беспредельных даях пространства и невообразимых безднах времени. Он снова и снова — с той поры и до конца своих дней — пытался постигнуть сущность жизни и смерти, смысл своего существования и бытия всего человечества.

И еще одно замечательное качество воспитывал Е. М. Короленко у своего юного друга: веру в великие возможности научного познания, человеческого гения. Именно эта вера легла в основу учения Вернадского о переходе биосферы в ноосферу: «безмерны возможности человека разумного. Он способен осушать морское дно, обнажая плодородные земли, и затоплять бесплодные части Азии и Африки; он, если нужно, выровняет горы и спрямит реки...»

⁹ Там же. № 76.

¹⁰ Там же. № 73.

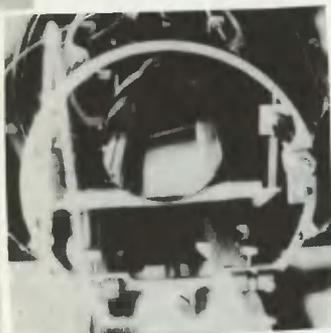
А. И. Герцен понимал науку как исторический процесс, имеющий объективный, внутренне противоречивый характер. Являясь важнейшим социальным инструментом, наука, по его мнению, направлена против схоластики, догматизма, дилетанства и прочих форм духовного рабства. Такие представления отвечают насущным требованиям современной общественной жизни.

Володин А. И. А. И. ГЕРЦЕН В РАЗМЫШЛЕНИЯХ
О НАУКЕ. К 175-летию со дня рождения



В экспериментах по исследованию космических лучей, проводившихся на Тянь-Шаньской высокогорной научной станции, были обнаружены ливни частиц с необычно большой длиной пробега. Этот эффект объясняется рождением частиц, в состав которых входит тяжелый очарованный кварк.

Дремин И. М. ТЯНЬ-ШАНЬСКИЙ ЭФФЕКТ, ИЛИ
ОЧАРОВАНИЕ В КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ



Известный американский астрофизик К. Торн, находясь в Советском Союзе, дал интервью корреспондентам «Природы», в котором высказал свою точку зрения на перспективы развития гравитационно-волновой астрономии, которая, по его мнению, должна сыграть революционную роль в развитии наших представлений о Вселенной.

Торн. К. В ПОИСКАХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

Кто же большая панда — странный медведь или странный енот? Спор об этом идет почти 100 лет, но не решен и доньяне.

Шер А. В. ПРОИСХОЖДЕНИЕ БОЛЬШОЙ ПАНДЫ



Новое прочтение ряда античных географических текстов в совокупности с археологическими данными свидетельствует о том, что на рубеже IV и III вв. до н. э. уровень Каспийского моря был значительно выше нынешнего.

Муравьев С. Н. УРОВЕНЬ КАСПИЯ ГЛАЗАМИ
ДРЕВНИХ ГРЕКОВ

Цена 80 к

Индекс 70707